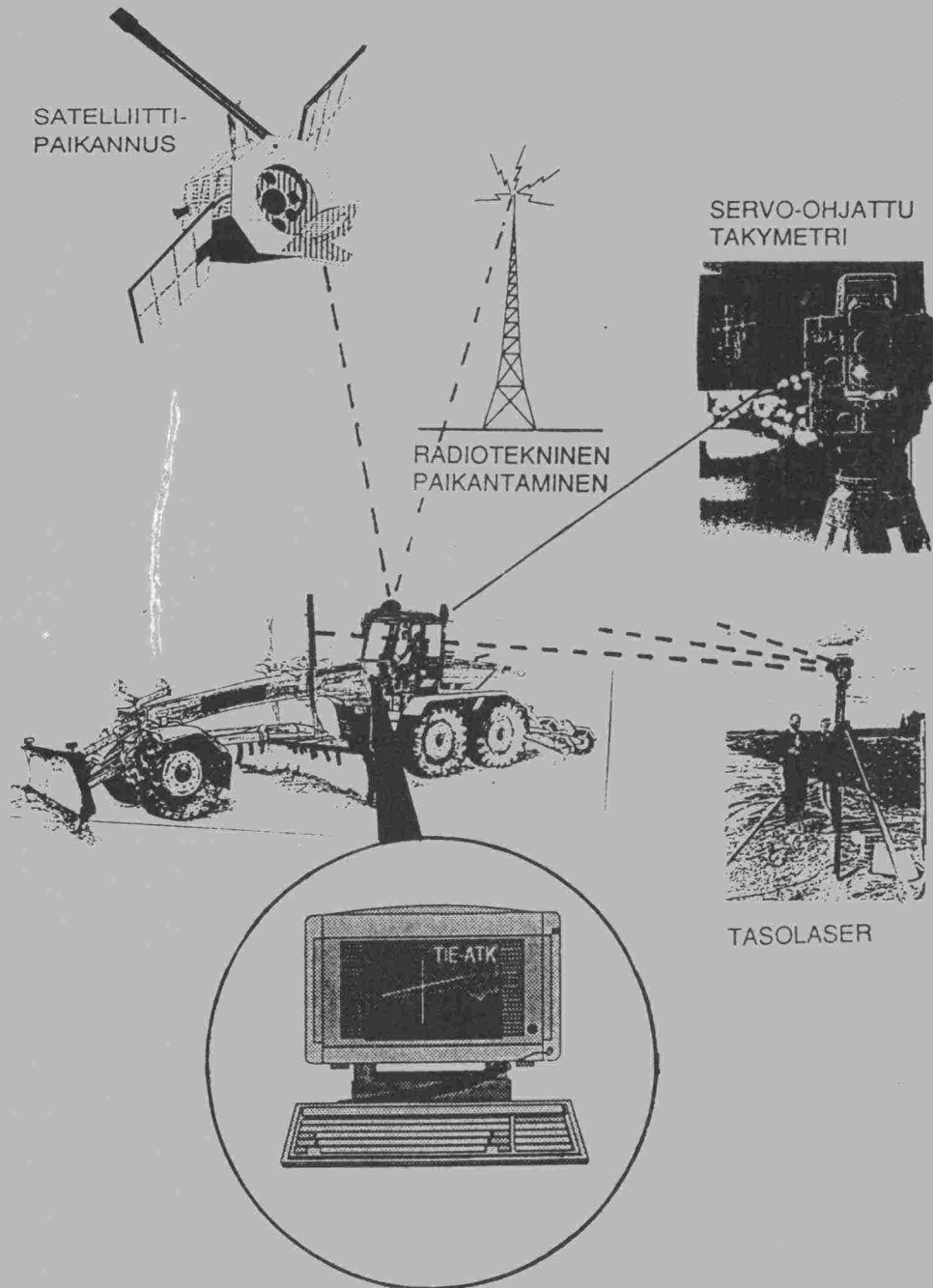


**Tielaitos**

# Mittausautomaation hyödyntäminen maarakennuskoneiden ohjauksessa



**Tielaitoksen  
selvityksiä**

**39/1991**

Helsinki 1991

**Helsingin  
tuotantotekninen  
kehitysyksikkö**

Tielaitoksen selvityksiä  
39/1991

## **Mittausautomaation hyödyntäminen maarakennuskoneiden ohjauksessa**

**Tielaitos**

Tiehallitus, Helsingin tuotantotekninen kehitysyksikkö

Helsinki 1991

ISBN 951-47-4985-5  
ISSN 0788-3722  
TIEL 3200035  
Valtion painatuskeskus  
Pasilan VALTIMO  
Helsinki 1991

Julkaisua myy  
Tiehallitus, painotuotevarasto

**Tielaitos**

Tiehallitus  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde (90) 1541

## Tiivistelmä

Raportissa on selvitetty paikantamistekniikoiden nykytilaa ja lähiajan käyttömahdollisuuksia tienrakennustyömaan työkonien automaattisen ohjauksen kannalta.

Työkonien ohjausautomaation lisääminen kasvattaa erityisesti rakennussuunnittelun ja työn toteutuksen keskinäistä vuorovaikutusta sekä samalla parantaa näiden vaiheiden laatua. Automaatiolla pyritään lisäämään työn laatua ja tuottavuutta sekä työturvallisuutta. Automaation etuja ovat myös säästöt materiaalin menekissä ja rakennusajan lyhenemisessä.

Mittausautomaation hyödyntäminen työkonien ohjauksessa merkitsee työkonien sisäisen automatiikan yhdistämistä rakentamisen ja suunnittelun atk-järjestelmiin sekä työmaan mittausjärjestelmiin. Kun tuotantoketju suunnittelu-mittaukset-rakentaminen integroidaan, saadaan automaatiosta suurempi hyöty. Tämän takia tielaitoksen intressit vaikuttaa automaation kehittämiseen ovat suuret, sillä muutoin integraation hyödyt voivat jäädä saavuttamatta.

Automaation lisääminen kannattaa aloittaa yksinkertaisemmasta tekniikasta ja raskaimmista sekä kalleimmista työkonista, jotka tekevät toistuvia ja samanlaisia, lähinnä päällysteen alapuolisiin rakennekerroksiin liittyviä työvaiheita. Yksinkertaisemmalla automaatiolla saadaan ainakin alkuun enemmän hyötyä suhteessa automaation kustannuksiin.

Jatkotoimenpiteinä ehdotetaan käynnistettäväksi seuraavasti konkreettisia kehitysprojekteja ohjausautomaation kehittämiseksi ja käytön edistämiseksi:

- 1) Selvitetään kehitystyön kannalta tärkeät osapuolet ja tarpeelliset yhteistyöjärjestelyt.
- 2) Kehitetään työkonien varten integroitu ohjausjärjestelmä, jossa on yhdistetty tien rakennetiedot ja työmaan mittausjärjestelmät työkonieautomaatioon.
- 3) Pyritään kehittämään ja edistämään yksittäisten laitteistojen (esim. tasolaser ja servo-ohjattu takymetri) soveltamista työkonien ohjaamiseen. Kehitysprojektien toteuttamisen aikana tul- laan lisäksi seuraamaan paikantamisen ja automaation teknistä kehitystä.



## ALKUSANAT

Tässä esiselvityksessä on tutkittu paikantamistekniikoiden nykytila ja lähiajan käyttömahdollisuudet tienrakennustyömaan työkoneiden automaattisen ohjaamisen kannalta. Työn tarkoituksena on ollut kehittää tietyömaan paikalleenmittauksia siten, että mittaukset ohjaavat suoraan työkoneita ilman maastoon tehtäviä kiinteitä apumerkintöjä. Soveltuvuusarvioinnin perusteella on visioitu myös tekniikan mahdollisuuksia pidemmällä aikavälillä.

Selvitys on tehty touko-marraskuussa 1991 Tiehallituksen Helsingin tuotantoteknisen kehitysyksikön tilauksesta. Konsulttina työssä on toiminut Viasys Oy. Työtä on ohjannut projektiryhmä, johon kuuluivat:

Tapani Angervuori	TIEH/Hky (pj.)
Matti Arkko	TIEH/Tt
Matti Laitinen	TIEH/Skk
Antti Piirainen	TIEH/Tky
Tapani Kokko	Viasys Oy
Hannu Lappalainen	Viasys Oy (siht.).

Sisältö:Tiivistelmä

<u>ALKUSANAT</u>	4
<u>1. JOHDANTO</u>	6
<u>2. TEKNIIKAN NYKYTILA</u>	7
2.2 MEKAANISET JA OPTISET APU- JA OHJAUSVÄLINEET	7
2.2.1 Kaltevuusmittari	7
2.2.2 Tiehöylän terän säätöautomaatiikka	8
2.2.3 Kaivussyvyyden osoittimet	9
2.2.4 Ultraäänitunnistin	11
2.3 TAKYMETRITEKNIikka	12
2.4 RADIOTEKNINEN PAIKANTAMINEN	14
2.5 INERTIALAITTEET	15
2.6 TASOLASER	17
2.7 GPS-SATELLIITTIMITTAUKSET	19
2.8 NYKYTEKNIIKAN SOVELTUVUUS	22
<u>3. MITTAUSAUTOMAATION LISÄÄMINEN TIENRAKENNUSTÖISSÄ</u>	25
3.1 TIENRAKENNUSTYÖMAA MITTAUSAUTOMAATION SOVELLUSKOHTENA	25
3.2 AUTOMAATIOMENETELMIEN ARVIOINTI	26
<u>4. TULEVAISUUDEN KEHITYS</u>	28
4.1 YLEINEN KEHITYS	28
4.2 ARVIOITU LÄHITULEVAISUUDEN KEHITYS	32
4.3 VISIOINTIA	33
<u>5. SUOSITUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI</u>	36
5.1 JATKOTOIMENPITEET	36
5.2 OSAPUOLET JA YHTEISTYÖ	36
5.3 TYÖKONEEN OHJAUSAUTOMAATIO	37
5.3.1 Työvaiheet	37
5.3.2 Näyttö- ja ohjausohjelma	37
5.3.3 Paikantamisjärjestelmä	39
5.4 MUUT TOIMENPITEET	40
5.5 KEHITYSTYÖN ARVIOINTI	40
<u>6. LÄHDELUETTELO</u>	41
<u>7. LIITTEET</u>	43

## 1. JOHDANTO

Vuonna 1986 valmistui selvitys "Tietyömaan mittaukset". Siinä esiteltiin silloisia uusimpia välineitä ja tekniikoita. Into uusien välineiden käyttöön on kuitenkin ollut laimeahkoa lukuunottamatta tähtäysmerkkien automaattista laskentaa. Mittausten automaatio on puolestaan kuluneiden viiden vuoden aikana kehittynyt.

Työkoneiden ohjausautomaatiolla voidaan parantaa työvaiheiden laatua. Oikean korkeustason, rakennekerrosten paksuuden sekä muodon ja sijainnin toteaminen käy helpommin. Työvaiheen lopputulokset voidaan tarkastaa välittömästi, jolloin tarkistusmittaukset vähenevät. Rakentamisen laatu paranee, kun saavutetaan tarkemmin suunnitelman mukaiset rakenteiden mitat. Automaatiota voidaan myös käyttää laadunvarmistukseen vertaamalla suunniteltua ja toteutunutta rakennetta.

Työn tavoitteena oli selvittää paikanmäärityksen ja navigoinnin perustekniikoiden nykytila ja niiden lähiajan käyttömahdollisuudet. Soveltuvuuden pohjalta luotiin kevyehkö visio mahdollisuuksista työmaamittausten automatisoinnissa pidemmällä aikavälillä. Menetelmien soveltuvuutta on arvioitu lähinnä maarakentamisen kannalta.

Paikanmäärityksen perustekniikoita ovat GPS-paikannus, inertiamittaus, radiotekninen paikantaminen, takymetrimittaukset ja tasolaserit. Muita laitteistoja olivat erilaiset yksinkertaisemmat mekaaniset ohjausvälineet, joiden avulla koneen kuljettaja voi päätellä sijaintinsa tai säätää työkoneen tettä sopivaan asentoon, kuten kaltevuusmittarit tms.

Merkintämittausten laskennat tehdään nykyisin rakennustyön aikana mm. rakennussuunnitelman pohjalta. Usein laskentoja joudutaan kuitenkin täydentämään työmaalla. Mittaukset tehdään käytännössä takymetrillä. Tähtäysmerkit lasketaan TAHYS-ohjelmalla, johon siirretään tien suunnitellut poikkileikkaukset rakennussuunnitelmasta. TAHYS tuottaa tähtäysmerkkien koordinaatit, jotka voidaan siirtää kenttätietokoneeseen ja mitata takymetrillä tähtäysmerkit oikeille paikoilleen. Myös TIEMIES-ohjelmaa käytetään muutamassa tiepiirissä. Sillä voidaan laskea koordinaatteja maastossa tien geometria- ja poikkileikkaustiedoista.

## 2. TEKNIIKAN NYKYTILA

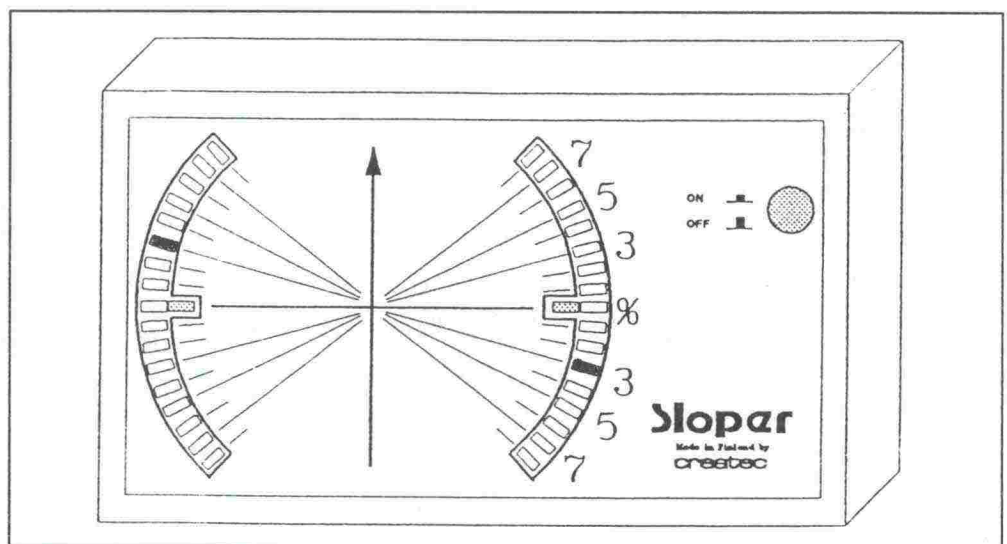
### 2.2 MEKAANISET JA OPTISET APU- JA OHJAUSVÄLINEET

#### 2.2.1 Kaltevuusmittari

Kaltevuusmittareita käytetään tiehöylissä ja asfaltinlevittimissä. Kaltevuusmittareita on mekaanisia ja elektronisia. Mekaaninen kaltevuusmittari maksaa muutaman sata markkaa ja elektroninen 5000 - 10000 markkaa. Elektronisen mittarin hinta riippuu lähinnä siitä, onko laitteessa yksi vai kaksi anturia.

Kaltevuusmittarin edut perustuvat siihen, että se helpottaa kuljettajaa pitämään terää oikeassa kaltevuudessa. Kaltevuusmittareista on selvityksissä todettu (Tiehöyliä kaltevuusmittarit 1989):

- Kaltevuusmittarit ovat hintansa arvoisia lisälaitteita, ja ne soveltuvat sekä tiekerrosten rakentamiseen ja kunnossapitoon. Kaltevuusmittari on kuljettajan apuväline, joka auttaa höyläämään tienpinnalle annettuja ohjekaltevuuksia.
- + Mittarin visuaalisuus on tärkeää. Kuljettajan on voitava helposti seurata näyttöä. Analogista ledinäyttöä (kuva 1) pidetään yleensä parempana kuin digitaalista numeronäyttöä.
- Kaltevuusmittareiden mitta-anturit toimivat hyvin, kun höyläyskulma on 90°. Höyläyskulmien muuttuessa mittaustarkkuus voi vähetä  $\pm 2$  %. Myös antureiden mittaviiveissä on vielä parantamista.



Kuva 1. SLOPER-kaltevuusmittarin näyttö (Createc Ky).



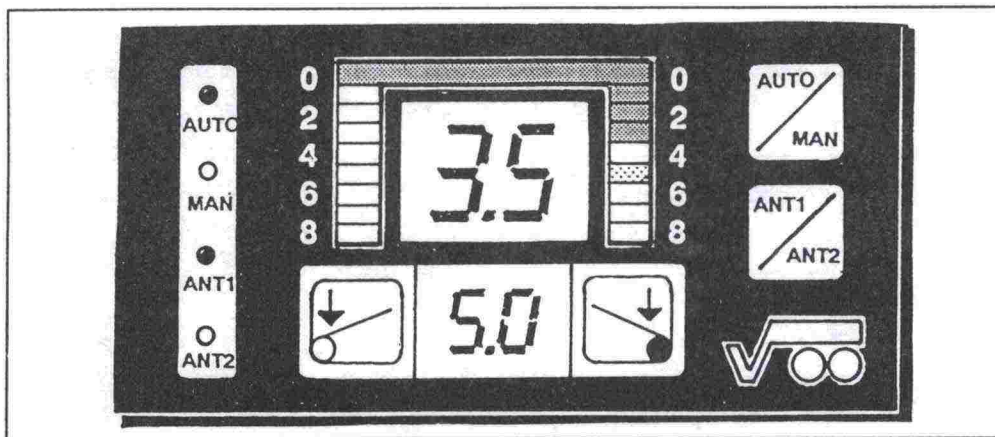
- Kaltevuusmittarin käyttö rakennustyömaalla ei korvaa ajokeppimiestä. Pinnan pituussuuntaista kaltevuuden vaihtelua ei nykyisillä mittareilla voida havaita.
- Mittareista on hyötyä varsinkin uusille ja varakuljettajille, jotka ajavat höylää harvoin.
- Kaltevuusmittarin toiminta perustuu tarkkaan kalibrointiin, joka on suoritettava vaaitsemalla, jolloin terän vaakatasoa vastaava näytön nollapiste saadaan oikeaan kohtaan.

### 2.2.2 Tiehöylän terän säätöautomaatiikka

Suomessa on kehitetty tiehöylän terän säätöautomaatiikkaa (Createc Ky ja Vammas Oy). Vammas Oy:n laitteiston ominaisuudet ovat laitevalmistajan mukaan seuraavat:

- suurin käyttönopeus on 10 km/h
- automatiikka pitää terän halutussa kaltevuudessa, kaltevuuden tarkkuus on 0,5 %
- vain terän oikea puolen säätö automatisoitu, vasen puoli säädetään manuaalisesti
- laitteistossa ei ole automaattista korkeustason säätöä
- laitteessa on pyritty halpaan ja taloudelliseen ratkaisuun (hinta noin 30 000 mk).

Kallistuksen %-arvo syötetään painikkeilla ohjaamossa olevasta näyttöpaneelistä (kuva 2). Ylemmästä näytöstä saadaan mittausarvo prosentteina ja sen ympäriltä nähdään valopatsaana kallistuksen suuruus.



Kuva 2. Tiehöylän terän säätöautomaatiikan ohjauspaneeli (Vammas Oy).

Työkoneen terän kaltevuuden automaattista säätöä ja kaltevuusmittareita voisi käyttää esim. alusrakenteen ja rakennekerrosten pintojen tasaamisessa sekä päällysteen levittämisessä. Työkoneita, joihin laitteet soveltuvat, ovat:

- tiehöylä
- asfaltin levitin

- puskutraktori
- luiskan tasaaja.

Työterän säätöautomaatiikkaa ja kaltevuusmittareita voidaan käyttää yhdessä ultraääniantureiden ja tasolaserin kanssa (ks. 2.2.4 ja 2.6).

### 2.2.3 Kaivussyvyyden osoittimet

Paine-eromittaukseen perustuvalla laitteistolla voidaan mitata korkeuseroja. Kuvassa 3 on esitetty kaivinkoneeseen asennettu laitteisto, jossa on nesteletkuun ja siihen liitettyyn anturiin kytketty näyttölaite koneen ohjaamossa (Levelator).

Kauha voidaan asettaa tähtäysmerkin päälle ja nollata näytön korkeusluke-ma tähän pisteeseen. Sen jälkeen kauhaa liikuteltaessa kuljettaja näkee joka hetki kauhan suhteellisen korkeuden verrattuna tähtäysmerkin tasoon.

Laitteella on useita hyviä puolia:

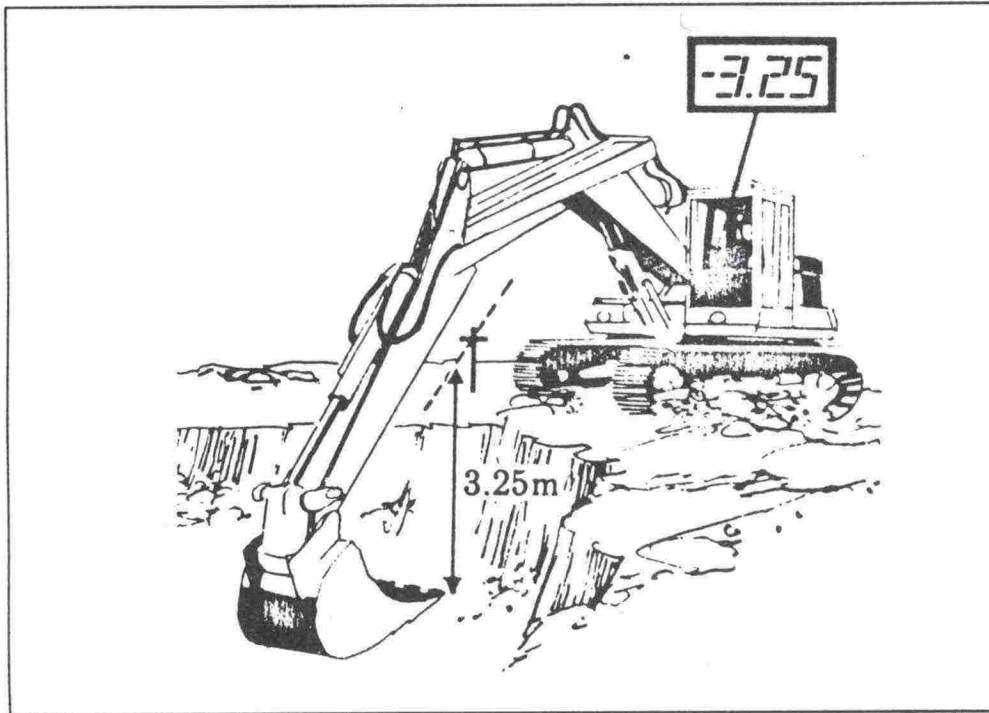
- eri rakennetasojen mittaustarve vähenee
- työskentely tulee tarkemmaksi ja nopeammaksi (päästään helpommin oikealle kaivussyvyydelle vaikkapa peitteisessä maastossa tai hämärässä sekä vedessä)
- laite sopii periaatteessa kaikkiin konetyyppeihin
- kuljettajan työskentelymukavuus paranee
- laitteisto on suhteellisen yksinkertainen ja halpa (noin 20 000 markkaa).

Digitaalisessa kaivussyvyyden osoittimessa mittari saa signaaleja kolmelta anturilta. Yksi antureista ilmaisee puomin ja toinen varren asennon ja kolmas kaivukoneen kallistuman kaivusuunnassa (Åkerman, kuva 4). Mittari muuttaa antureiden impulssit kaivussyvyydeksi, mikä näkyy numeroina mittarin taulukossa. Mittarin tarkkuus on  $\pm 5$  cm. Laitteisto käy vain Åkerman-työkoneisiin ja se maksaa noin 20 000 markkaa.

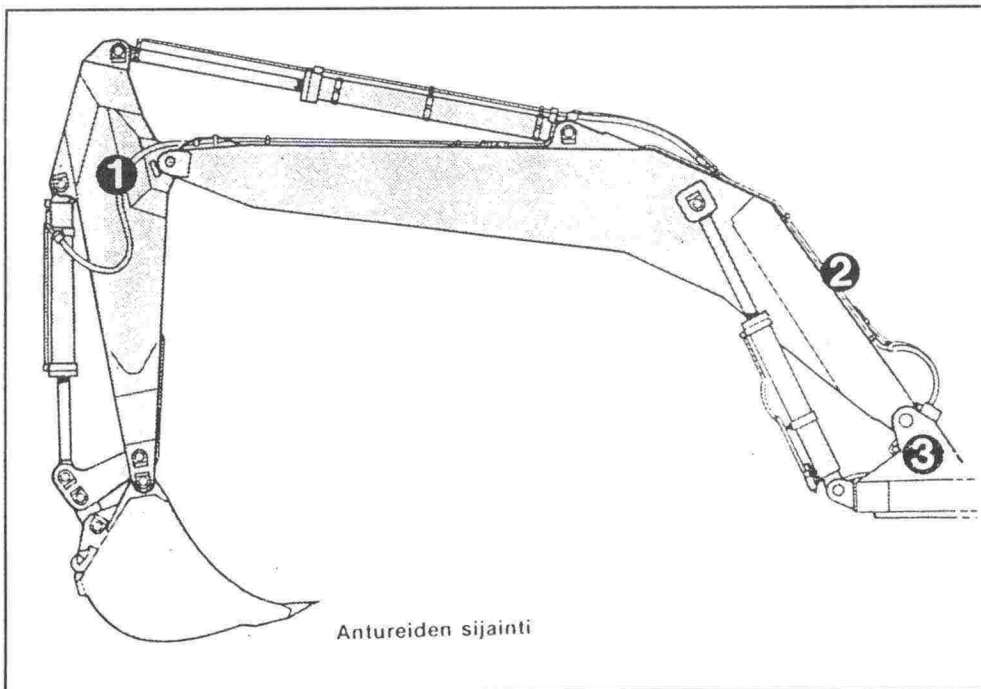
Kaivussyvyysmittarin mahdollisia käyttökohteita voisivat olla:

- viemärit ja kaivot
- louhint
- massanvaihto
- ojat ja rummut
- ruoppaus
- maaleikkaukset.





Kuva 3. Levelator-mittauskoje (AB Diglevel).

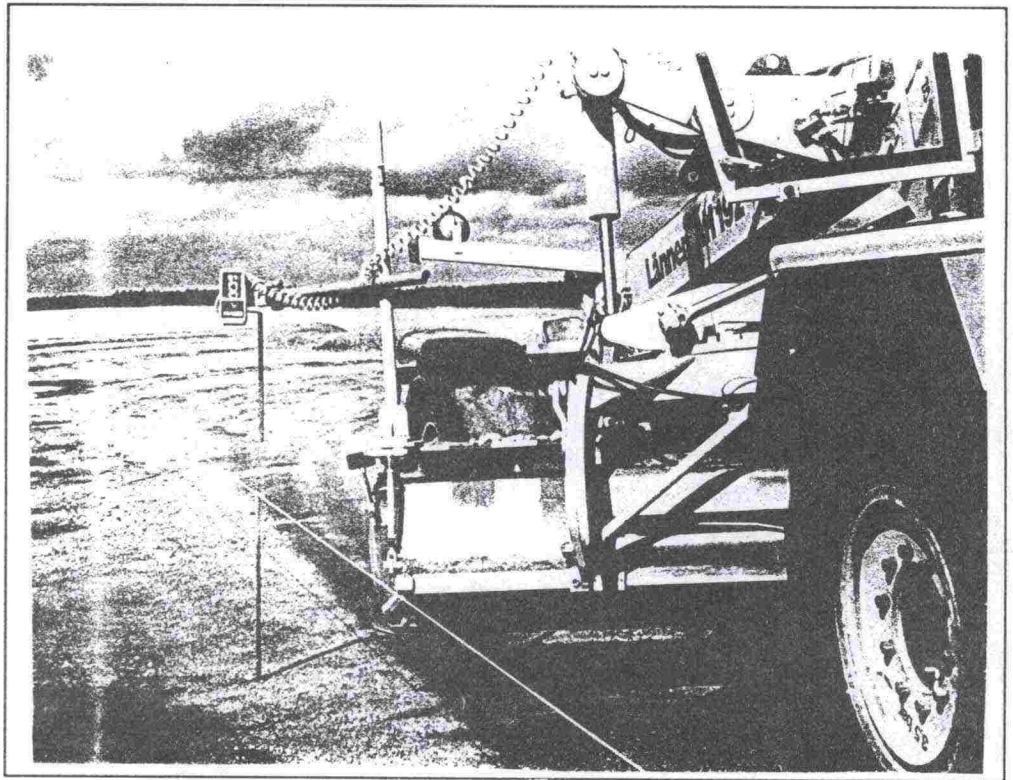


Kuva 4. Digitaalisen kaivussyvyyden osoittimen anturien sijoitus (Åkerman).

### 2.2.4 Ultraäänitunnistin

Ultraäänitunnistin toimii etäisyysmittarina siten, että kohteesta heijastuvan ääniaallon vaihe-eron perusteella voidaan määrittää kohteen etäisyys tunnistimesta. Ultraäänitunnistin sijoitetaan esim. höylän terän ulkopuolelle. Laite lukee korkeuden edellisestä tasatusta kerroksesta, reunakivestä tai rakennekerroksen viereen pingotetusta langasta. Jos työkoneessa on hydraulista säätöautomaatiikkaa, se pitää etäisyyden esim. lankaan koko ajan samana, kun työkonea ajetaan eteenpäin.

Ultraäänitunnistinta voidaan käyttää varsinkin tasolaserlaitteiston kanssa esim. tiehöylissä ja asfaltinlevittimissä.

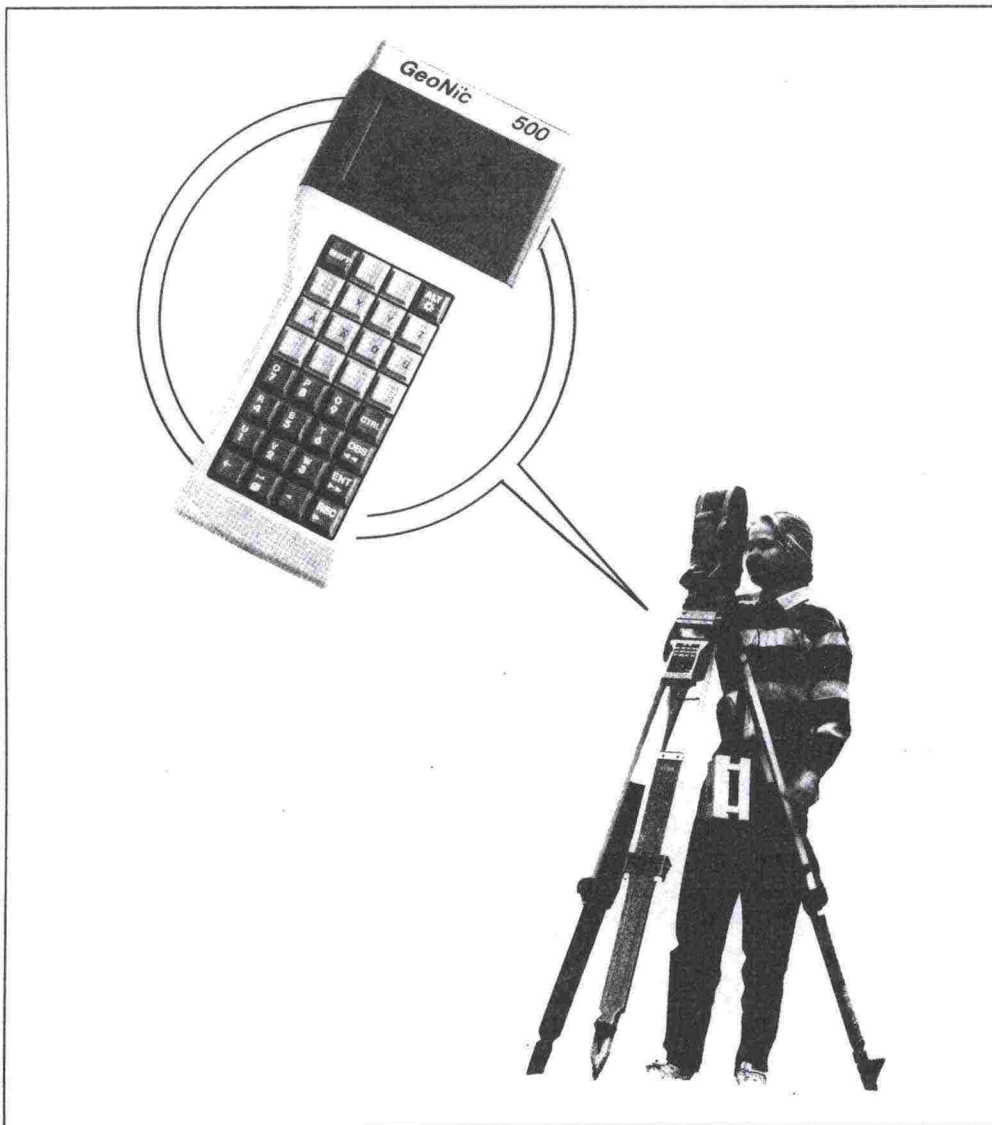


Kuva 5. Ultraäänitunnistin tiehöylässä.

### 2.3 TAKYMETRITEKNIikka

Elektronisia takymetrejä on ollut jo 1970-luvulla ja 1980-luvun puolessa välissä takymetreihin tuli laskevia järjestelmiä. Servomoottoreita alettiin takymetreissä käyttää 1980-luvun lopulla. Takymetri on kulman ja etäisyyden mittaustilaite, jossa yleensä on laskentaohjelmistoja ja kaksisuuntainen tiedonsiirtojärjestelmä mikrotietokonetta varten. Takymetrillä voidaan määrittää pisteen x-, y- ja z-koordinaatti.

Elektronitakymetri (kuva 6) maksaa vajaat 100 000 markkaa. Se poikkeaa servo-ohjatusta vain siinä, ettei se voi automaattisesti seurata prismaa. Perinteiselläkin takymetrillä voidaan päästä melkein reaaliaikaiseen työkoneiden ohjaamiseen. Mittausviive saattaisi olla noin viiden sekunnin luokkaa. Takymetrejä voitaisiin hyödyntää työkoneiden ohjauksessa esimerkiksi levittämässä rakennekerroksia, tehtäessä kaivinpaaluja ja porattaessa kalliota.

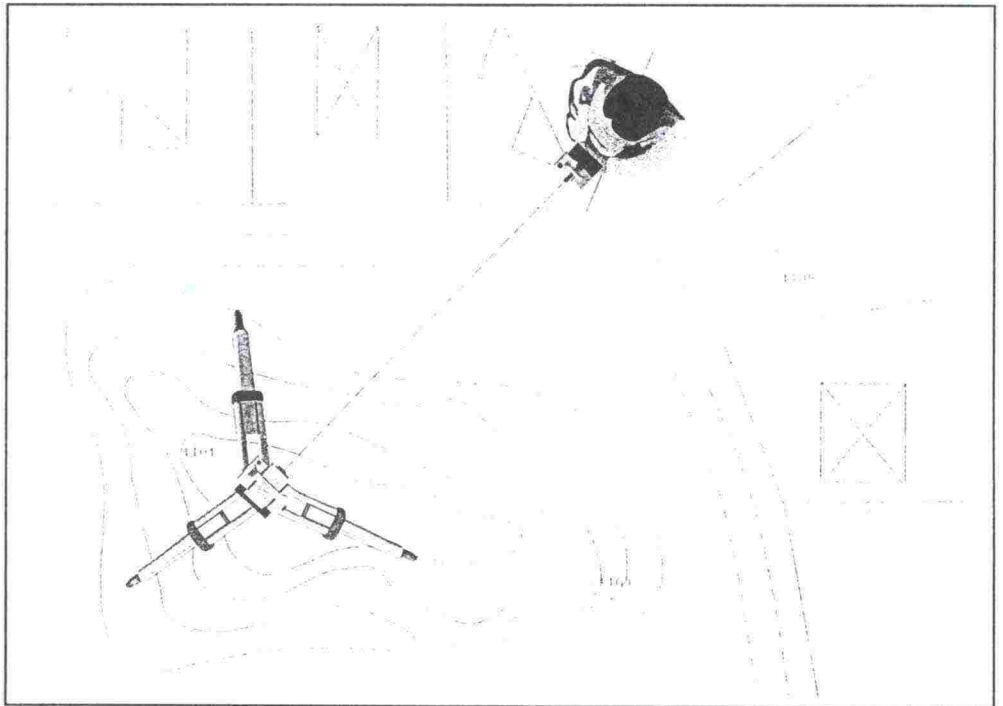


Kuva 6. Maastotyöasema: elektronitakymetri ja kenttätietokone (Geotime Oy).



Servo-ohjatun takymetrin ominaisuuksia ovat (Geodimeter 4000, Geoditech Oy):

- Laitteessa on kohteen (prisman) seurantajärjestelmä (Autotracking System). Kohteen jäädessä näköesteen taakse laite pyrkii löytämään sen uudelleen.
- 30 km/h liikkuvan kohteen seuraaminen on vielä mahdollista.
- Hämäryys ei estä seuraamista, mutta sankka sumu voi jo sitä haitata.
- Korkeuskoordinaatin määrittystarkkuus on noin 1 cm kilometrin matkalla.
- Laitteiston hinta on noin 270 000 markkaa.



Kuva 7. Servo-ohjattu takymetri voi olla miehittämätön. (Geoditech Oy).

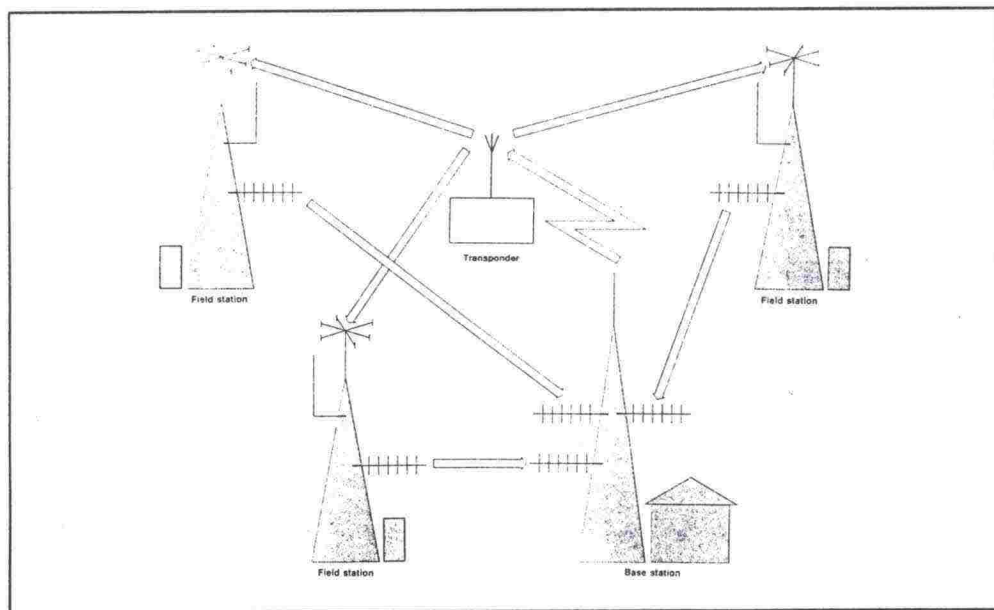
Takymetrimittausten kehittämisellä voidaan saavuttaa seuraavanlaisia etuja:

- Kiinteillä prisma-asemilla voidaan nopeuttaa mittausten aloittamista.
- Servo-ohjattu takymetri voi olla miehittämätön, jolloin mittausryhmien kokoonpano voi olla joustavampi.
- Takymetreillä voidaan ohjata työkonetta, jolloin paalutettavien pisteiden määrä vähenee ja laatu paranee.
- Työn laadunvarmistus paranee, kun samalla voidaan tehdä tarkistusmittaukset ja esimerkiksi myöhemmin verrata toteutuneita rakenteita suunniteltuihin.

## 2.4 RADIOTEKNINEN PAIKANTAMINEN

Radiopaikantamisella voidaan yleensä mitata vain x- ja y-koordinaatit. GPS-mittaukset, jotka ovat 3-ulotteisia, on käsitelty erikseen. Radiotekninen paikantaminen voisi perustua suuntimolaitteiden käyttöön. Tällöin radiolähetin asennetaan työkoneeseen. Kolmella suuntimolla mitattujen suuntakulmien avulla voidaan lähettin paikantaa. Kehittyneet suuntimot perustuvat ns. Doppler-ilmiöön. Tällaisia laitteita on alunperin kehitetty ilmaliikenteen valvontaan. Eräs paikantamisjärjestelmä on kehitetty Hollannissa villieläinten liikkumisen seurantaan. Paikantamisen tarkkuusvaatimus oli tässä sovelluksessa 150 metriä. Suuntimon suunnanmittauksen tarkkuus on  $2^\circ$ , mikä karkeasti laskien tarkoittaa noin 30 metrin virhettä kilometrin matkalla. Laitteen edustajan mukaan laitteisto voidaan kyllä virittää sellaiseksi, että kilometrin mittauksetäisyyksillä saavutetaan muutaman sentin tarkkuus. Tällaista laitetta ei kuitenkaan ole toistaiseksi valmiina markkinoilla, vaan se pitäisi konstruoida ja testata.

Kuvassa 8 on periaatepiirros radioteknisestä paikantamisesta. Mittausasema (Base station) lähettää radiosignaalin radiolähettimelle (Transponder), jonka lähettämän signaalin kolme VHF-suuntimoa havaitsee. Suuntimot lähettävät tietoja mittausasemalle, jossa mikrotietokone laskee lähettimen koordinaatit.



Kuva 8. Radiopaikannuksen periaate (VHF DF System PA 002, Rohde&Schwarz GmbH)

Suuntimolaitteet maksavat noin 80.000 markkaa. Mittauksia saattavat häiritä radiosignaalien heijastukset, muuten mittaukset ovat periaatteessa olosuhteista riippumattomia.

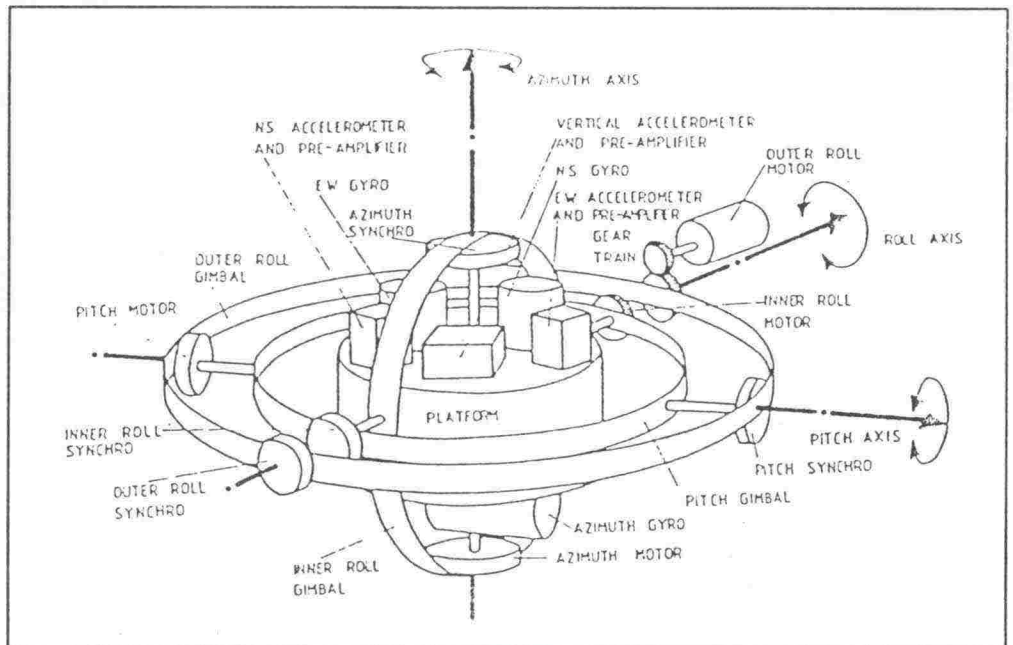
## 2. TEKNIIKAN NYKYTILA

Toinen vaihtoehto radiopaikantamisessa on käyttää yleisiä radio- ja tv-asemia. Lehtiartikkelin mukaan ideaa on Itävallassa kokeiltu käytännössä. Liikkuva auto paikannettiin viiden metrin tarkkuudella ja jalankulkija kymmenen sentin tarkkuudella. Järjestelmän tarkkuus on teoriassa kolme % lyhyimmästä aallonpituudesta. Laitetta ei ole vielä kehitetty kaupalliseksi tuotteeksi.

Radioteknisessä paikantamisessa on ongelmana korkeustiedon puuttuminen. Sellaisenaan se ei siis sovellu työkonien ohjaamiseen, vaan vaatisi vielä täydentävän mittausjärjestelmän, joka tuottaisi korkeuskoordinaatin.

## 2.5 INERTIALAITTEET

Inertiamittaaminen perustuu massan hitauteen. Mittauslaitteen perusosat ovat kiihtyvyyshmittarit, gyroskooppiset hyrrät ja hyrräkompassi, jolla mittarikehys suunnataan todelliseen pohjoissuuntaan. Mittarikehyksen aksleilla kiihtyvyyshmittarit ovat kolmiulotteisella, suorakulmaisella koordinaatistolla (kuva 9).



Kuva 9. Inertiamittauslaitteen periaatepiirros (Caspary 1985).

Kiihtyvyyshmittariin joustin avulla sidottu massa liikkuu eri tavalla suhteessa kehikon liikkeisiin (massan hitaus). Massan poikkeama lepotilan asennosta suhteessa mittarikehykseen on verrannollinen kehyksen kiihtyvyyteen. Kun mittalaitetta siirretään, hyrrien ja kiihtyvyyshmittareiden avulla havaittujen suunta- ja kiihtyvyyshpoikkeamien perusteella voidaan laskea laitteen suhteellinen sijainti.



Mitattavan pisteen koordinaatit lasketaan tunnetun lähtöpisteen ja inertia-paikannuksella saatujen koordinaattierojen summana. Käytännössä mittaus tehdään seuraavasti (Caspary 1985):

- Laitteisto kohdistetaan lähtöpisteelle ja syötetään lähtöpisteen koordinaatit.
- Laitteiston annetaan orientoida itsensä automaattisesti todelliseen pohjoissuuntaan ja paikallisen luotiviivan suuntaan. Samalla laitteisto tekee joitain sisäisiä kalibrointeja. Tämä esiorientointi vie aikaa noin puoli tuntia.
- Aloitetaan mittaus. Siirtymisnopeus autolla voi olla noin 40 km/h ja helikopterilla 150 km/h.
- Aika ajoin kulkuneuvo pysäytetään nopeusvirhemittausta varten 5 - 10 minuutin välein. Mitä enemmän maastossa on korkeuseroja, sitä useammin virhemittausta on suoritettava.
- Kun mittaus on suoritettu, mittaus vielä suljetaan tunnetulle pisteelle. Sulkupisteen pitäisi mieluummin olla eri kuin lähtöpiste.
- Lopulliset tulokset saadaan tasoituslaskennan jälkeen, joka voidaan suorittaa laitteiston ulkopuolisella tietokoneella. Tasoituslaskentaa ei ole pakko tehdä, vaan laitteisto voi antaa myös reaaliaikaisen sijainnin. Tasoituslaskenta tosin parantaa tarkkuutta.

Inertiatekniikan edut ovat (Santala 1987, Huddle 1986):

- mitattavien pisteiden välillä ei tarvita näköyhteyttä
- mittaus on säästä riippumaton
- mittaus voidaan tehdä myös pimeässä
- mittausjärjestelmä on muista tahoista riippumaton verrattuna esim. GPS-mittauksiin
- mittaus on periaatteessa nopea
- mittaaminen ja tulosten käsittely voidaan tehdä täysin automaattisesti.

Inertiatekniikan huonoja puolia ovat (Santala 1987):

- mittaustarkkuus on esim. satelliittimittauksiin verrattuna huono, tarkkuus ei ainakaan vielä riitä geodeettisiin mittauksiin
- mittaustarkkuus riippuu mittausajasta, nopeuskorjauksista (pysähdykset) ja siitä, onko reitillä tunnettuja pisteitä
- mittaustarkkuus on 3 - 30 cm (vuonna 1987), lyhyillä etäisyyksillä korkeuskoordinaatin mittaustarkkuus on 2 cm
- mittauslaitteisto on suurehko ja sitä kuljettamaan tarvitaan jokin kulkuneuvo
- kiihtyvyyssmittarit ja hyrrät ovat teknisesti monimutkaisia ja niiden huolto ja korjaaminen on hankalaa
- laitteistot ovat vielä kalliita (laitteet maksavat miljoonia).

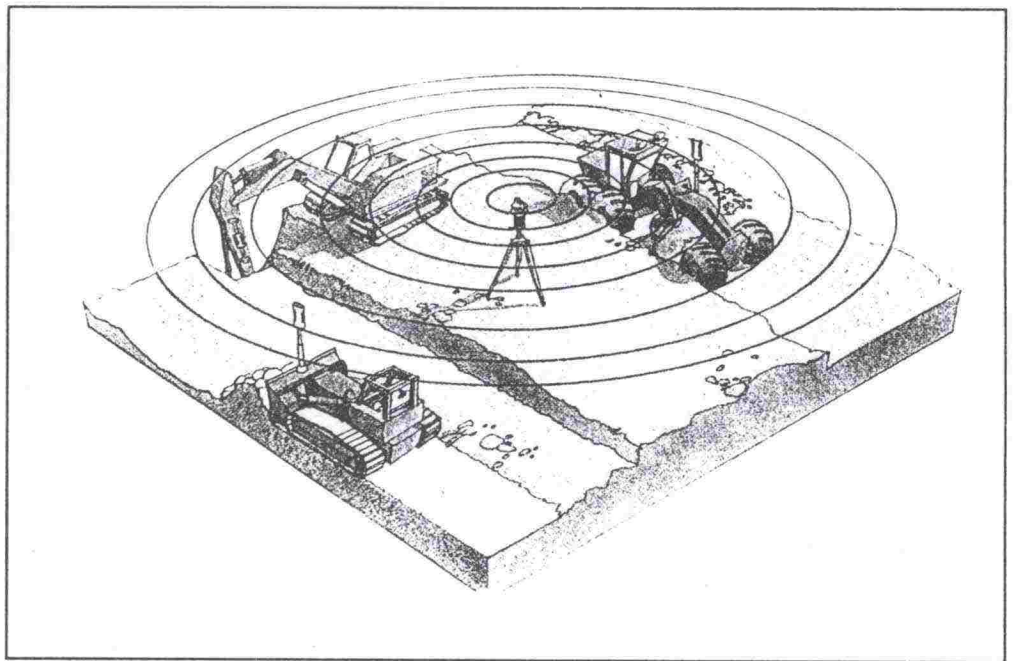
Inertiamittaus on yleinen lentonavigoinnissa ja sotilaskäytössä. Mittausjärjestelmän hinta on vielä korkea, minkä vuoksi inertiatekniikka ei ole yleistynyt siviilikäytössä. Markkinoilla on kuitenkin siviilikäyttöön tarkoitettuja inertiamittausjärjestelmiä, joissa samaan maastoautoon on asennettu lisäksi elektroninen takymetri. Inertiajärjestelmällä tehdään jonomittausta ja taky-

metrillä mitataan kiintopisteet jonopisteiltä. Tällöin tarkkuus paranee noin kymmeneen senttiin lyhyillä jonoilla (Martikainen 1991).

Inertiapaikanmäärityksen tarkkuus on parantunut 1980-luvulla puolesta metristä muutamiin sentteihin. Jos kehitys jatkuu samanlaisena 1990-luvulla, päästään jo geodeettisiin tarkkuusvaatimukseen (Santala 1987).

## 2.6 TASOLASER

Tasolasereissa käytetään erilaisia tunnistimia, jotka asennetaan mittakeppeihin tai ajoneuvoon mastoksi. Signaali siirtyy vastaanottimesta ohjausjärjestelmään, joka säätää terän korkeutta. Terän asennon korjaus voidaan näyttää työkoneen ohjaajalle ajoneuvon hytissä erilaisilla näyttöpaneeleilla. Jos terän asennon säätö on automatisoitu, varustetaan työkone hydraulisella ohjausjärjestelmällä, joka nostaa tai laskee työterää (kuva 10).



Kuva 10. Tasolaser (*Laserplane, Spectra-Physics*).

Pyörivä laserlaite lähettää ohuen lasersäteen vaakatasossa tai halutussa kaltevuudessa. Työkoneeseen asennettu vastaanotin reagoi säteeseen ja lähettää tasotiedon työkoneen ohjaamossa olevalle ohjauskeskukselle. Esimerkiksi salaojituskoneessa matkapyörä kertoo kuljetun matkan ohjauskeskukselle, joka ohjaa koneen hydraulikkaa. Kuljettaja syöttää halutun kallistusprosentin ohjausjärjestelmään, jolloin ohjauskeskus ohjaa konetta tekemään ojan haluttuun kaltevuuteen ja syvyyteen. Järjestelmään voidaan liittää myös ultraäänimittaus (ks. 2.2.4)



Jos vastaanotinta ei haluta sijoittaa työkoneeseen, voidaan myös käyttää säteenilmaisinta, jolla työkoneen perässä kulkeva apumies tarkistaa rakenteen pinnan korkeuden.

Laserohjauslaitteiston hinta työterän säätöautomaatiikan kanssa on noin 100 000 markkaa. Laserlähetin ja ultraäänitunnistin nostavat laitteiston hinnan noin 200 000 markkaan.

Tasolasersovellukset on todettu tasaisella maastolla hyvin toimiviksi, kuten lentokentillä. Tietyömaan mahdolliset, suuret maaston korkeuserot voivat haitata tasolaserin käyttöä. Putkilasereita on käytetty erilaisten putkien asentamiseen Ruotsissa jo 1960-luvun lopulta. Lasersäteen avulla putki suunnataan oikeaan suuntaan ja kaltevuuteen. Tasolasereille voi keksiä useita käyttömahdollisuuksia:

- viemärien, salaojien ja kaivon kansien asentaminen
- kerroksen pinnan tasaisuuden tarkistaminen
- louhintatyöt
- sillanrakentaminen
- tien varusteiden asentaminen (kaiteet, valaistus)
- paalutus, perustukset ja massanvaihto
- ojat, rummut, leikkaukset ja penkereet.

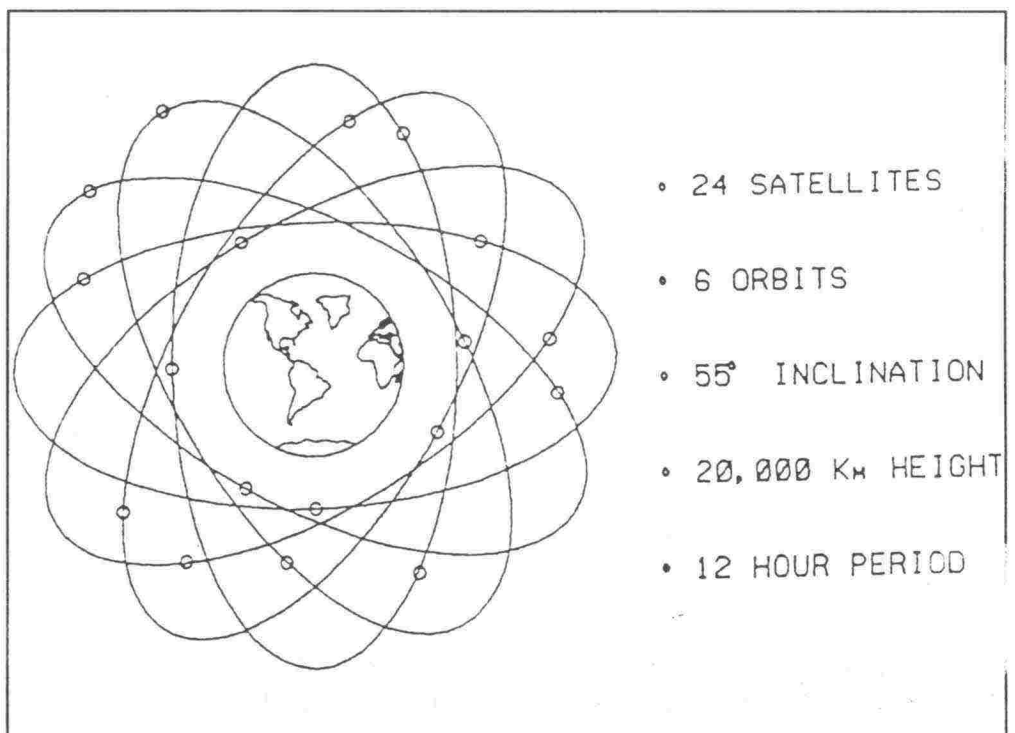
Kokemukset tasolaserin käytöstä ovat olleet hyviä (Päiviö 1990 ja Kandolin 1990):

- tähtäysmerkkien asentamiseen ja tähtäilyyn kuluva aika säästetään
- aikaa säästyy, kun työkoneita ei tarvitse välillä ajaa pois tähtäyslinjalta
- työn tarkkuus paranee neljännekseen tarkkaan tähtäysmerkkien käyttöön verrattuna
- höyläyskerrat vähenevät ainakin kolmannekseen, jolloin höyläys nopeutuu ja kustannukset pienenevät
- höyläyskertojen vähentyessä maamassojen lajittuminen vähenee, ja rakenteen routivuus vähenee sekä kantavuus paranee
- rakentamisen tehokkuus saattaa nousta jopa 30 - 40 %
- laitteiston takaisinmaksuaika on noin vuosi, jos työkoneen käyttöaste on riittävän suuri
- hämäryys ei estä mittauksen tekemistä.

## 2.7 GPS-SATELLIITTIMITTAUKSET

GPS (Global Positioning System) on NAVSTAR-satelliittijärjestelmään (NAVigation System using Time And Ranging) perustuva, USA:n puolustusministeriön (Department of Defence, DoD) ylläpitämä ja kehittämä paikantamisjärjestelmä. GPS onkin kehitetty alunperin sotilaallisiin tarkoituksiin. GPS-laitteilla voidaan tehdä kolmeulotteisia mittauksia ja määrittää tarkka kellonaika.

GPS on radiotekninen sovellus. Paikantaminen perustuu satelliittien lähettämiin radiosignaaleihin, joita voidaan havaita erilaisilla GPS-vastaanottimilla. Paikantamis- ja navigointijärjestelmä kattaa koko maapallon ja on käytettävissä 24 tuntia vuorokaudessa. Järjestelmä ei ole kuitenkaan vielä valmis. NAVSTAR saataneen valmiiksi 1992-1993, jolloin maapalloa kiertää 21 toimivaa ja 3 varasatelliittia kuudella eri kiertoradalla (kuva 11).



Kuva 11. NAVSTAR-satelliittijärjestelmä (Merrell 1990).

NAVSTARia on sen keskeneräisyydestä huolimatta hyödynnetty jo vuosia sotilas- ja siviilikäytössä. Suomessa maanmittaushallitus teki ensimmäiset koemittaukset 1983.

Paikan määrittämisen periaate on yksinkertainen. Maastoon tai kulkuvälineeseen sijoitetaan vastaanotin, joka mittaa satelliittien lähettämää korkeataajuisia radiosignaaleja. Signaali sisältää sen lähetysajan ja satelliitin silloisen sijainnin. Lähetysajan perusteella saadaan laskettua signaalin näennäis-

nen kulku-aika. Kun signaalin kulku-aika kerrotaan valon nopeudella, saadaan ns. vale-etäisyys (pseudorange, Pseudodistanzen). Kun on määritetty vale-etäisyydet neljään satelliittiin, voidaan laskea neljä tuntematonta suuretta: x-, y- ja z-koordinaatit sekä vastaanottimen ajan ja GPS-ajan välinen ero. Jos korkeuskoordinaattia ei tarvita, riittää havainnot kolmesta satelliitista (Brunner, Pohjola 1991).

GPS-järjestelmä voidaan jakaa kolmeen erilliseen osaan (Brunner):

- avaruussegmentti (satelliitit)
- valvonta- ja ohjaussegmentti (tarkkailuasemat)
- käyttösegmentti (vastaanottimet).

Satelliittien valvonta- ja ohjausjärjestelmään kuuluu viisi tarkkailuasemaa, joiden avulla määritellään satelliittien kiertoradat geosentrisessä koordinaatistossa (WGS-84, World Geodetic System). Samoin asemilta tarkkaillaan satelliittien atomikellojen käyntiä.

GPS-vastaanottimia on monenlaisia käyttötarkoituksesta riippuen. Halvimmat esimerkiksi veneilyssä käytettävät laitteet maksavat 10 000 - 15 000 markkaa ja geodeettiset vastaanottimet 100 000 markasta ylöspäin.

Satelliittien radiosignaaleissa käytetään kahta taajuutta L1 (1575 MHz) ja L2 (1227 MHz). Kantoaaltoon on vaihemoduloitu kahta binäärikoodia. Tarkkuudeltaan karkeampi, yleiseen käyttöön tarkoitettu C/A-koodi (Coarse Acquisition) toimii L1-taajuudella. C/A-koodin paikannustarkkuus on noin 20 metriä. Tarkkuutta voidaan kuitenkin ajoittain tahallisesti huonontaa noin 100 metriin. Tästä käytetään termiä Selective Availability.

Tarkempi P-koodi (Precise) käyttää molempia taajuuksia L1 ja L2. P-koodi on varattu sotilaskäyttöön, mutta sen rakenne on julkinen salaisuus ja sitä käyttäviä kaupallisia tuotteita on saatavilla. P-koodin paikannustarkkuus on noin 5 metriä.

GPS-mittaustapoja on monenlaisia. Niitä voi luokitella halutun tarkkuuden, havaintoajan (laskenta-ajan), mittauksen liikkuvuuden (staattinen/liikkuva) ja vastaanottimien lukumäärän mukaan (yksi tai monta vastaanotinta).

Reaaliaikaista paikanmäärittystä voidaan C/A-koodiakin käytettäessä tarkentaa sijoittamalla yksi vastaanottimista tunnetulle pisteelle. Tällaisessa differentiaalisessa paikanmäärittäyksessä referenssipisteellä todetut erot otetaan huomioon korjauksina muilla vastaanottimilla. Alle 10 kilometrin etäisyyksillä päästään noin 2 metrin tarkkuuteen, kun havaintoaika on 5 sekuntia.

Suhteellisessa (relatiivisessa) mittauksessa määritetään kahden tai useamman havaintopisteen keskinäinen sijainti. Menetelmää käytetään tavallisesti geodeettisissa mittauksissa, joissa tarkkuusvaatimus on suuri. Koordinaat-



tien ja muiden suureiden laskenta voidaan erillisessä mikrotietokoneessa, johon havainnot siirretään. Geodeettisissa mittauksissa yksi luotausjakso kestää noin 1 - 1,5 tuntia. Paikanmäärittelyn tarkkuus voi olla jopa millimetrejä.

Liikkuvassa (kinemaattisessa) mittauksessa osa vastaanottimista voi olla tunnetuilla pistellä, osa autossa tai lentokoneessa (fotogrammetria). Fotogrammetrisissa mittauksissa tarkkuus on suuruusluokkaa 1-5 cm. Liikkuvassa autossa tapahtuvan paikanmäärittelyn tarkkuus on taas suuruusluokkaa 1-5 metriä (Merrell 1990).

GPS-järjestelmän tekniset ominaisuudet ovat:

- globaali, satelliittipohjainen radiotekniikkaan perustuva kolmiulotteinen paikannus- ja navigointijärjestelmä
- käytettävissä (periaatteessa) 24 tuntia vuorokaudessa
- ei vaadi näköyhteyttä kahden erillisen mittauspisteen välille
- myös liikkuva mittaus on mahdollista
- mittauksen tarkkuus vaihtelee menetelmän ja havaintoajan mukaan
- vastaanottajien lukumäärä on rajoittamaton
- mittaukset ovat säästä riippumattomia (edellyttää kaksitaajuusvastaanottimia, sama koskee myös ionosfäärin magneettisia muutoksia).

GPS-järjestelmään liittyy muutamia mahdollisia mittauksia häiritseviä tekijöitä:

- virheet satelliittien kiertoratatiedoissa
- virheet satelliittien atomikelloissa tai vastaanottimien kelloissa
- signaalien heijastukset korkeista rakennuksista tms.
- havaintokatkot (mittausluotaukset vaativat suoran näköyhteyden vastaanottimen ja satelliitin välille)
- koordinaattien muuntamiseksi WGS-koordinaatistosta paikalliseen koordinaatistoon tarvitaan muunnoskertoimet, jotka täytyy määrittää erikseen
- järjestelmän DoD-riippuvuus (USA:n puolustusministeriö) voi olla mahdollinen uhka järjestelmän täydelliselle hyödyntämiselle siviilikäytössä.

Alustava arvio GPS-järjestelmän soveltuvuudesta nykyisellään työkonien ohjaamiseen on pessimistinen. Ainakaan yksinään se ei riitä työmaan mittausjärjestelmäksi tarkkuus- ja havaintoaikatekijöiden perusteella, vaan vaatisi jonkin muun täydentävän järjestelmän. Työmaan mahdollisia sovelluskohteita voisivat ehkä olla työvaiheet, joissa paikanmäärittämisvaatimukset ei ole tarkkoja tai joissa toisaalta mittausaikojen ei tarvitse olla niin nopeita. GPS-sovellusten kehittämiseen uhrataan kuitenkin todennäköisesti runsaasti panoksia, ja tulevaisuudessa järjestelmän hyödynnettävyys voi olla aivan toista luokkaa.



GPS-järjestelmälle on useita mahdollisia käyttökohteita. Satelliittimittauksia on käytetty mm. geodeettisissa mittauksissa, ilmavalokuvauksessa, tiestön inventoinnissa ja rakenteiden siirtymien mittauksissa. Tulevaisuuden mahdollisiksi GPS-mittausten käyttökohteiksi on ennustettu esim. ajoneuvojen paikantaminen kuljetusten ohjaamisessa ja ajoneuvoliikenteen automaattinen ohjaus sekä yleensä navigointi (Merrell 1990, Ruotsalainen ja Pohjola 1991).

## 2.8 NYKYTEKNIIKAN SOVELTUVUUS






























Taulukossa 1 on vertailtu eri tekniikoiden soveltuvuutta työkoneiden ohjaamiseen tienrakennustyömaalla. Taulukon perusteella:

- Kaivussyvyyden osoittimien soveltuvuus on hyvä. Laitteisto on kustannuksiltaan edullinen ja soveltuu hyvin kaivinkoneisiin. Laitteistolla voidaan mitata kuitenkin vain korkeuskoordinaatti.
- Takymetri- soveltuvuus työkoneiden ohjaamiseen on periaatteessa hyvä, laitteiston kustannukset ovat kohtuulliset ja se mittaa kaikki kolme koordinaattia. Työkoneiden ohjauksen mittausautomaation kehittämiskustannukset voivat olla kuitenkin suu- rehkot. Eräs mahdollinen ongelma liittyy näkemäesteisiin suun- tausautomaatiikan käytössä (servo-ohjaus).
- Tasolaserin soveltuvuus on suhteellisen hyvä; tosin vain kor- keustieto on periaatteessa käytettävissä. Työkoneen sijainti täy- tyy määrittellä matkapyörän tms. avulla. Tasolasersovelluksia on valmiina ja niitä on jo kokeiltu.
- Radiotekniikan soveltuvuus on epävarmaa. Laitteistolla voi- daan mitata ainoastaan x- ja y-koordinaatit, joten tärkeä kor- keustieto jäisi puuttumaan.
- Inertialaitteistot ovat liian kalliita, jotta investointia voisi pitää taloudellisesti mahdollisena: miljoona markkaa per työkone on aivan liikaa.
- GPS-satelliittimittauksiin liittyy riskejä ja käytännön ongelmia. NAVSTAR-satelliittijärjestelmä on USA:n puolustusministeriön ylläpitämä, mikä voi rajoittaa järjestelmän siviilikäyttöä. Luo- tausyhteys vastaanottimien ja satelliittien välillä ei mittausten ai- kana saisi katketa, mitä on hankala välttää peitteisessä ja metsäi- sessä maastossa sekä taajamissa.

Soveltuvuusarvion lopputulos on, että yksinkertaisimpien mittaustekniikoi- den (kaivussyvyysosoittimet ja ultraäänimittaus sekä tasolaser) ja takymetri- tekniikan soveltuvuus on tällä hetkellä huomattavasti parempi muihin tek- niikoihin (radiopaikantaminen, inertia- ja GPS-mittaukset) verrattuna. Tätä voi myös perustella hyöty-hintasuhteilla, helpommalla käyttöönottavuuu- della ja yksinkertaisemman tekniikan joustavuudella.

Tekniikoita voidaan myös käyttää yhdistämällä kaksi tai useampaa. Tämä on tyypillistä esim. tasolasersovelluksissa, joissa käytetään usein myös työ- terän kaltevuuden säätöautomaattikkaa ja ultraäänitunnistimia.

Taulukko 1. Nykysteekkniikkoiden soveltuvuus työkoneiden ohjaamiseen.

	TEKNIIKAT					
	Kaivussyvyys- ja ultraäänimittaus	Takymetri	Tasolaser- tekniikka	Radiotekniikka	Inertiatekniikka	GPS-mittaukset
Mittaustarkkuus X ja Y Z		 			 	 
Mittausnopeus						
Säänipuvuus						
Muita ongelmia	-	Näkemäesteet	Maaston kor- keuserot	Heijastukset	-	Luotausyhteys ei saa katketa
Valmiit sovel- lukset						
Kokemukset		-		-	-	-
Arvio	Halpoja, hyödyt kohtalaiset	Hyvä	Soveltuu ainakin tasaisella maal- la, vain z- koordinaatti	Soveltuvuus epä- varmaa, vain x- ja y-koordinaatti	Liian kallista vielä nykyisin	Sisältää muuta- mia riskejä ja ongelmia

**Soveltuvuus:**

-  Hyvä
-  Kohtalainen
-  Välttävä
-  Huono

Radioteknisissä sovelluksissa korkeuskoordinaatti täytyy mitata jollakin muulla tekniikalla, kuten tasolaser, kaivussyvyyden osoitin tai ultraäänitunnistin. Tasolasertekniikka ja kaivussyvyyden osoittimet ovat jossain määrin toisiaan korvaavia, esim. kaivutöissä. Kaivussyvyysosoittimet ovat huomattavasti halvempia kuin tasolaserlaitteistot, mutta niitä ei toisaalta voida soveltaa yhtä laajasti eri työkoneisiin ja työvaiheisiin.

### 3. MITTAUSAUTOMAATION LISÄÄMINEN TIENRAKENNUSTÖISSÄ

#### 3.1 TIENRAKENNUSTYÖMAA MITTAUSAUTOMAATION SOVELLUSKOhteena

Tienrakentamisen työvaiheita ovat:

- raivaustyöt
- leikkaus- ja pengerrystyöt
- pohjanvahvistustyöt
- paalutukset
- alusrakenteen muotoilu
- tien rakennekerrosten tekeminen
- päällystäminen
- sillat
- sivuojen sekä tien varusteiden ja laitteiden rakentaminen ja asentaminen (valaistus, kaiteet, liikennemerkit ja ajoratamerkinät).

Kunnossapitoon ei tässä työssä puututa, vaikka sekin on potentiaalinen automaation sovelluskohde.

Mittauksia tehdään rakentamisen eri työvaiheita varten. Yleensä kaikki rakennuskohteet ovat jossain määrin erilaisia riippuen mm. tien luokasta ja rakennusympäristöstä. Vaativimpia kohteita ovat taajamassa rakennettavat pääväylät. Varsinkin taajamissa rakentaminen voi olla nopeatempoista, mikä edellyttää automaatioltakin joustavuutta sen soveltamisessa. Usein rakennetaan pidempää tieosaa samaan aikaan, jolloin yhtäaikaan on käynnissä useita eri työvaiheita. Eri työvaiheiden mittaukset liittyvät pääasiassa:

- rakenteiden merkitsemiseen (tähtäysmerkit)
- tarkistuksiin ja laadunvalvontaan
- massalaskentaan
- rakennustyönaikaisiin lisätutkimuksiin.

Mittausautomaatiolle otollisia sovelluskohteita tienrakennustyömaalta löytyy siis varsin paljon.



### 3.2 AUTOMAATIOMENETELMIEN ARVIOINTI

Automaation välineitä voi luokitella esimerkiksi teknisesti tai toiminnallisesti käytön kannalta. Automaatiolaitteiden tekninen luokittelu voisi olla esimerkiksi (Skiebniewski&Hendrickson 1990):

- mekaaniset
- numeerisesti ohjatut (NC = numerically controlled)
- puoliautomaattiset (semiautonomous)
- automaattiset (autonomous).

Mekaaniset koneet sisältävät vain yksinkertaista automatiikkaa, kuten rakennustyökoneet, joissa on joitain automatisoituja toimintoja,

Numeerisesti ohjatut NC-koneet sopivat vain rajoitettuihin, tarkasti määritettyihin tehtäviin tietyissä olosuhteissa tekemään yhtä tai sarjaa samanlaisia tehtäviä. Ne eivät siis ole kovin joustavia.

Puoliautomaattiset koneet tekevät ainakin joitain tehtäviä automaattisesti, mutta tarvitsevat kuitenkin kuljettajan tai operaattorin.

Automaattiset koneet (robotit) ovat teknisesti em. kehittyneimpiä, ja ne käyttävät sensoreita ympäristön havaitsemiseen.

Toiminnallisesti automaatiolaitteita voi luokitella käytön kannalta (Wahlström 1990):

- passiivinen tuki (esim. tähtäysmerkit tms.)
- aktiivinen tuki (informaatiota ohjaajalle koneen sijainnista tms.)
- automaatio (automatiikka ohjaa koneen toimintaa).

Automaatiolla pyritään yleensä parantamaan työn laatua ja tuottavuutta sekä työturvallisuutta. Automaation etuja saattavat olla myös säästöt materiaalin menekissä ja rakennusajan lyhenemisessä. Pidemmän päälle ehkä hieman toissijaisempia hyötyjä voivat olla rakennusalan arvostuksen ja kilpailukyvyn paraneminen. Suoranaisimmat hyödyt tienrakentamisessa tulevat työn laadun paranemisesta ja mittausten vähenemisestä, kun oikeat rakenteiden kerrospaksuudet saavutetaan helpommin ja nopeammin.

Automaatio mahdollistaa myös rakentamisen vaikeissa olosuhteissa (pimeys, kylmyys ja etäiset tai vaaralliset paikat). Automaation optimaalinen soveltuvuusalue on toistuvat, työläät, paljon työtä vaativat ja yksinkertaiset rutiinityövaiheet.

Automaation lisäämisessä on oleellinen seikka sen hyödyt ja kustannukset. Automaatioinvestoinnin pitäisi olla taloudellisesti kannattava. Hyötyjen ar-

viointi näyttää käytännössä olevan vaikeaa, mutta asiaa voi lähestyä esimerkiksi seuraavasti:

- mitä uusi tekniikka maksaa ?
- mitä sillä saadaan aikaan (tuottavuus tms.) ?
- mitä sen käyttöönotto muuten vaatii (aika, koulutus, suunnittelu, soveltuvuusolosuhteet tms.) ?

Vaihtoehtoisia tekniikoita voidaan arvioida seuraavasti:

- Kannattaa aloittaa yksinkertaisista, joustavista apuvälineistä, jos niiden arvioitu hyöty/kustannus-suhde on suurin.
- Kannattaa aloittaa suurimmista ja kalleimmista koneista ensin, jolloin investointi automatiikkaan on pienempi suhteessa työkooneen hintaan.
- Automaatioasteella on ilmeisesti optimaalinen, tavoiteltava yläraja, jonka jälkeen automaatiolla saavutettavat hyödyt pienevät suhteessa kustannuksiin.
- Kehitystyön ja automaatioinvestointien rahoitus voi olla kriittinen seikka automaation lisäämisessä.
- Kehitys kulkee yleensä asteittain: ei voida yleensä tehdä nopeasti suuria hyppäyksiä, vaan muutokset vievät aina aikaa. Automaation käyttö lisääntyy vähitellen tekniikoiden kehittyessä ja niiden käytännön sovellusten yleistyessä.



## 4. TULEVAISUUDEN KEHITYS

### 4.1 YLEINEN KEHITYS

Rakennustyömaiden tuottavuuden kehitys on pitkällä aikavälillä johtunut lähinnä työmaan koneellistumisesta. Koneellistumisen jälkeen rakentamisen tuottavuuden kehitys on ollut hidasta. Teollisuudessa sen sijaan automaatioastetta on nostettu suhteellisesti nopeammin, ja tuottavuuden kehityskin on ollut parempaa. Ilmeisemmin teollisuusympäristössä automaation käyttöönotto on ollut helpompaa, ja siellä on siirrytty aika laajalti käyttämään ainakin joissain tehtävissä teollisuusrobotteja. Tyypillinen teollisuusrobotti maksaa noin 200 000 - 1 000 000 markkaa, ja niiden hinnat halpenevat koko ajan. Esimerkiksi Suomessa on käytössä noin 800, Ruotsissa noin 3800 ja Japanissa yli 270 000 teollisuusrobottia (Tekniikka&Talous 1991b).

Automatisoidun työkoneen ja robotin rajaa ei ehkä ole käytännössä helppo vetää. Nykyisin käytössä olevat robotit ovatkin kehittyneet esimerkiksi nostolaitteista ja työstökoneista. Herätteenä niiden kehittelyyn on ollut teollisuusautomaation kehittyminen, tietotekniikan kehitys ja kiinnostus tuottavuuden lisäämiseen (tuotannon tehokkuus).

Robotin (automatisoidun työkoneen) määritelmiä on useita. Esimerkiksi USA:ssa ja Japanissa käytetyt määritelmät poikkeavat toisistaan siten, että japanilainen käsitys robotista on hyvin laava. Kaikkia japanilaisia rakennusrobotteja ei länsimaissa pidetä robotteina, vaan jossain määrin automatisoituina rakennuskoneina. Myös lähtökohdat ovat eri maissa olleet erilaisia (Salo & Koskela):

- USA:ssa alan tutkimusta ja kehittelyä suurelta osin tehty sotilas- ja avaruustutkimusohjelmissa. Koska USA:ssa ei ole rakennusautomaatiolle selviä kaupallisia markkinoita, kehitys on siellä painottunut eräänlaiseen puoliautomaatioon.
- Japanissa on puolestaan pidetty tärkeinä tekijöinä tuottavuutta, työturvallisuutta ja työvoimapulaa, joiden takia rakennusyrietykset ovat panostaneet high-tech'iin. Tosin kaikkia Japanissa kehitettyjä laitteistoja ei voitane perustella kustannussäästöillä, vaan lähinnä yrityskuvan kohentamisella ja osaamisen kehittämisellä.

Japanissa kehitettyjä maa- ja vesirakennusalan robotteja ovat mm. (Salo&Koskela):

- vedenalaisten rakenteiden tutkimuslaite (MITI)
- tietokoneohjattu porausjumbo (esim. Kajima Co. ja Toyo Kogyo Co.)
- automaattinen tunnelointijärjestelmä SDACS (Hazama-Gumi Ltd)

## 4. TULEVAISUUDEN KEHITYS

- automaattinen maanalaisten seinien rakennusjärjestelmä (Takenaka Komuten)
- kauko-ohjattu, veden alla toimiva puskuotraktori
- sillanmaalausrobotti.

Tunnelitöihin suunniteltuja robotteja on Japanissa useita. Esimerkiksi Kajima Co:n viisipuomisen porauslaitteen muistiin talletetaan panostuskartta, jonka mukaan kone poraa. Talonrakennusosalalle Japanissa on kehitetty huomattavasti enemmän robotteja kuin maa- ja vesirakennusosalalle.

USA:ssa on kehitetty mm. seuraavanlaisia laitteita (Skiebniewski&Hendrickson 1990, Salo&Koskela 1987):

- Tietokoneohjatut, tasolaseriin perustuvat työkoneet (esim. Spectra-Physics ja Agtek Co.)
- Rex-järjestelmä (Robotic EXcavator) on tarkoitettu maahan haudattujen esineiden (esim. putkien) ylöskaivamiseen. REX muodostaa maatutkalla maastomallin ja määrittää esineen syvyyden ja sijainnin kaivamista varten.

Automaation yleistyminen on USA:ssa arvioitu suhteellisen nopeaksi (Evans 1986). 50 eri alan asiantuntijalle tehdyn delphi-kyselyn tulos oli:

- vuoteen 1990 mennessä 5 % uusista rakennuskoneista varustetaan puoliautomaattisella ohjausjärjestelmällä kuten tasolaserlaitteistolla
- vuoteen 1995 mennessä jo 50 % uusista rakennuskoneista on varustettu puoliautomaattisella ohjausjärjestelmällä ja 5 % kaikista kaivu- ja höyläystöistä tehdään laitteistolla, jotka käyttävät atk-pohjaista tietokantaa sekä 5 % rakennustyömaista on mitaussensoreita, jotka siirtävät mittauksia tietokantaan ("as-built"-tietokannat).
- vuoteen 1995 mennessä kehitetään standardi tietojen siirtämiseksi CAD-järjestelmistä työmaatietokoneisiin.
- vuoteen 2000 mennessä kehitetään standardi "as-built" -tietokannoille.

Automaation kehitystä voivat toisaalta jarruttaa seuraavat tekijät (Salo&Koskela):

- Rakennushankkeet ovat yleensä kaikki erilaisia, koska suunnitelmat tehdään ympäristöolojen ja suunnittelijan ratkaisujen mukaan.
- Rakennushanke sisältää erilaisia työvaiheita, joiden toistuvuus voi olla vähäistä.
- Rakennustyömaa muuttuu jatkuvasti muotoaan; tienrakennustyömaa on usein nauhamainen ja jopa kymmeniä kilometrejä pitkä.
- Monimutkaista automaatiota voi haitata kosteus, pöly, kuumuus, lumi, muta tms.
- Rakennuttaminen, suunnittelu ja tuotanto ovat hajautuneet eri organisaatioihin, mikä hankaloittaa tuotantotekniikan kehitystä.



- Rakennusalan tutkimustyö on vähäistä, ennakkoluulot korkeampaa tekniikkaa kohtaan melkoiset ja uusien menetelmien käyttöönotto hidasta.
- Suuri osa urakointiyrityksistä on pieniä, eikä niillä ole mahdollisuuksia investoida kalliiseen automaatiotekniikkaan.

Näkemykset rakennustekniikan kehityksestä jakautuvat kahtia:

- Perinteisimmän ja yleisimmän vision mukaan tekniikka kehittyy vähitellen, kun uusia tekniikoita sovelletaan käyttöön.
- Toisen käsityksen mukaan tietotekniikka (automaattinen tietojenkäsittely laajasti ymmärrettynä) tulee dramaattisesti muuttamaan rakentamista.

Erityisesti vuorovaikutteiset, kauko-ohjattavat robotit tai automatisoidut koneet näyttävät teknisesti soveliaimmilta työmaakäyttöön. Kolmannen sukupolven robottien on ennustettu olevan kauko-ohjattuja, ilman erillistä ohjelmointia liikkuvia ja ympäristöään sensoreidensa avulla hahmottavia (kuva 12). Todennäköiset kehityslinjat kulkevat samansuuntaisesti kuin teollisuuspolitiikka sekä tuotekehityksen ja tutkimuksen painopisteet.

Robottisukupolvet			
Sukupolvet	Teoreettisesti mahdollinen	Teknisesti mahdollinen	Taloudellisesti mahdollinen
1. - Etukäteen ohjelmoitava, ei havainnoi ympäristöä	1955	1970	1980
2. - Ympäristöä havainnoivat anturit	1970	1980	1990
3. - ei etukäteen ohjelmointia, vaan ihminen ohjaa, liikkuu	1980	1990	2000
4. - kykenee itsenäiseen toimintaan ja päätöksiin	1990	2000	2010

TOT

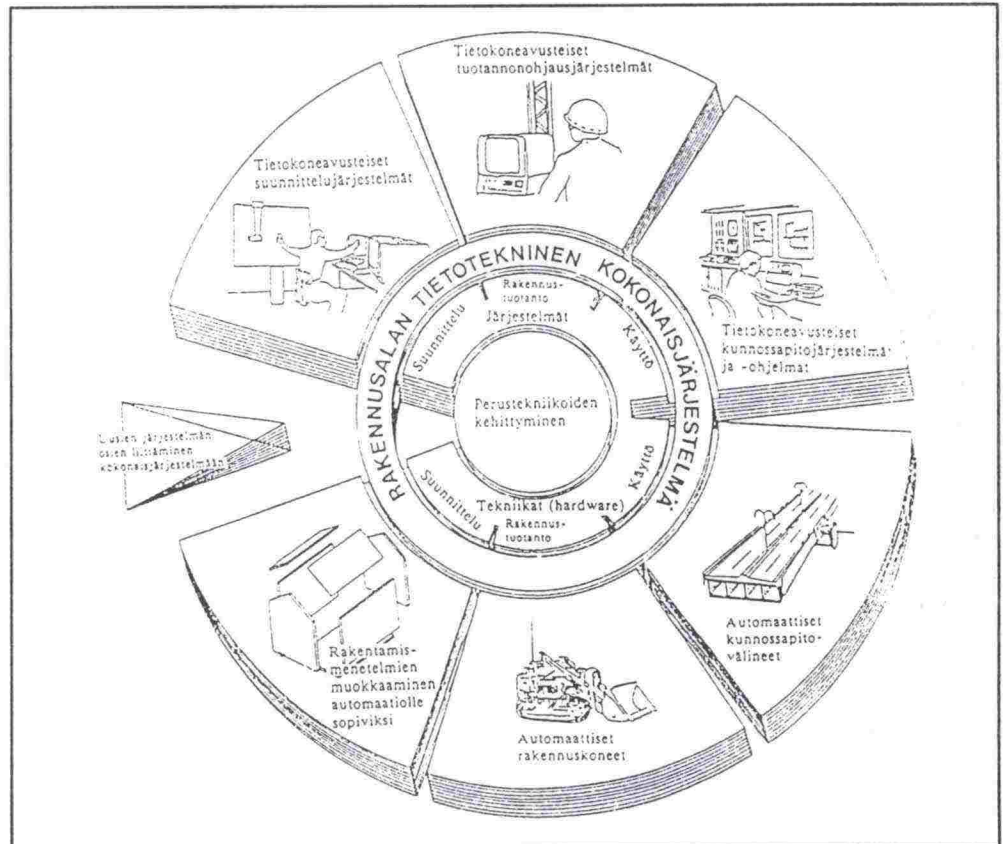
Kuva 12. Robottisukupolvet. (Tekniikka&Talous 1991a).

Rakennusrobotiikka tarvitsee monimutkaisempia ja kehittyneimpiä sensoreita, ohjelmia ja tiedonkäsittelyvälineitä kuin yleensä teollisuusrobotiikassa, koska rakennustyömaa on ympäristönä monimutkaisempi ja paljon vaativampi kuin tehdassali. Siten kuvan 12 kehitysarvio on rakentamisen kannalta ehkä optimistinen.

Automaation kehittämisessä tietojenkäsittelyn merkitys saattaa olla ratkaiseva. Pelkällä työkoneiden automaatiolla ei ehkä saavuteta niin suuria etuja, jos koko tuotantoprosessin tietojenkäsittely on jakautunut irrallisiin ja eril-



lisiin atk-järjestelmiin. Kuvassa 13 on japanilainen näkemys tietotekniikan soveltamisesta ja integraatiosta rakentamisen automaatiiossa.



Kuva 13. Periaatepiirros tietotekniikan monipuolisesta soveltamisesta japanilaisessa rakentamisessa (Salo&Koskela 1987).

## 4.2 ARVIOITU LÄHITULEVAISUUDEN KEHITYS

Työkoneiden automaattinen ohjaus on nykyisin Suomessa varsin vähäistä. Tie rakennetaan melko pitkälle merkitsemällä tien rakenteet tähtäysmerkeinä rakenteiden sivuille. Merkintämittausten laskentaa on kuitenkin automatisoitu siten, että laskennat voidaan tehdä rakennussuunnitelman poikkeileikkausten avulla atk-ohjelmalla ja sitten mitata tähtäysmerkit paikalleen esimerkiksi takymetrillä.

Kaivussyvyyden mittauslaitteita (ks. 2.2.2) on Ruotsissa käytetty jo 1980-luvun alkupuolelta, mutta jostain syystä ne eivät ole koskaan yleistyneet Suomessa. Sen sijaan ultraäänilaitteita ja tasolasereita on Suomessa jo kokeiltu, ja kokemukset ovat hyviä ainakin suhteellisen tasaisessa maastossa.

Tien rakennuttajan tarpeet ja tavoitteet automaation lisäämisen suhteen liittyvät lähinnä rakentamisen taloudellisuuteen ja lopputuloksen laadun varmistamiseen. Yleensä automaatiolla pyritään parantamaan työn laatua, tuottavuutta ja turvallisuutta. Yksi esimerkki käytännön ongelmasta tienrakentamisessa on sivukaltevuuden epätarkkuus siirryttäessä suoralta kaarteiselle osuudelle.

Automaation lisääntymisessä on nähtävissä käytännön reunaehtoja. Näitä ovat mittaus- ja automaatiotekniikan soveltuvuus tienrakennustyömaalle, automaatioinvestointien taloudellisuus ja rahoitus, eri osapuolien yhteistyö ja muutosvalmiudet. Eri osapuolia tässä ovat mm. tielaitos, laitevalmistajat ja urakoitsijat.

Edellä esitetyn perusteella tienrakentamisen automaatio lisääntyy vähitellen, kun työkonekanta uusiutuu. Lisälaitteet asennetaan helpommin uusiin rakennustyökoneisiin, ja vanhempaa kalustoa käytetään sellaisenaan. Kehitys edennee kuitenkin vääjäämättä kohti korkeustietojen parempaa hallintaa eri työvaiheissa. Tätä voi perustella taloudellisuuden ja laadun varmistuksen merkityksen korostumisella. Korkeustiedon hallinnasta päästään jo helpommin seuraavaan kehitysvaiheeseen: työkoneiden kolmiulotteisen sijaintitiedon hallintaan, jolloin lähestytään automaattisesti ohjattuja työkohteita. Automaation käyttö kehittyy tällä tavoin askelittain.

Arvioitu lähitulevaisuuden kehitys näyttäisi tielaitoksen näkökulmasta seuraavalta:

- Rakennustyö pyrkii teollistumaan taloudellisista syistä. Tämä merkitsee myös automaation lisääntymistä rakentamisessa. Maa- ja vesirakennuslalla automaation lisääntyminen lienee kuitenkin hitaampaa kuin yleensä esim. talonrakentamisessa tai rakennusaineteollisuudessa.
- Automaatioasteen lisäämisen edellytyksenä on suunnittelutietojen hyödyntäminen työkoneiden ohjaamisessa, ilman niitä automaatiota ei voida merkittävästi lisätä.

## 4. TULEVAISUUDEN KEHITYS

- Tielaitoksella on maarakennusalan suurena rakennuttajana kuitenkin varsin suuret vaikutusmahdollisuudet kehitykseen. Osittain tielaitoksen intressit saattavat yhtyä muiden osapuolten (laitevalmistajat, urakoitsijat tms.) etuihin, mutta toisaalta muilla intressiryhmillä ei välttämättä ole taloudellista kiinnostusta rakennusautomaation yhdistämiseen suunnittelun ja rakentamisen atk-järjestelmiin. Tällöin automaatiosta saatava hyöty voi tielaitoksen kannalta jäädä pieneksi.
- Automaation lisääminen kannattaa aloittaa yksinkertaisemmasta tekniikasta, kuten tasolasereista ja takymetreistä. Kaivussyvyydenosoittimetkin ovat vielä täysin käyttökelpoinen vaihtoehto.
- Automaatiosta on enemmän hyötyä suurilla työmailla. Pienille rakennustyömaille ei kannata raskasta automaatiota viedä, yksinkertaisempaa automaatiotekniikkaa kylläkin (kuten kaivussyvyyden mittauslaitteita tms.).
- Automaation lisääminen kannattaa aloittaa raskaimmista ja kalleimmista työkoneista, joilla tehdään usein toistuvaa samantyyppistä työvaihetta, esim. massojen levitys tiehöylällä. Tällöin automaatiosta saadaan mahdollisimman suuri hyöty ja automaatioinvestointi on pienempi suhteessa työkoneen hintaan.
- Tien alusrakenteeseen liittyviä työvaiheita kannattanee automatisoida ensin.
- Yleisesti ottaen automaation lisääminen työkoneiden ohjauksessa näyttää varsin kannattavalta, ja tielaitoksella on suuret intressit sekä mahdollisuudet kehityksen ohjaamiseen ja rakennusautomaation lisäämisestä kiinnostuneiden osapuolien kokoamiseen yhteen automaation kehittämiseksi ja käytön edistämiseksi.

## 4.3 VISIOINTIA

Visio on näkemys, jolla ohjataan toimintaa tulevaisuuden tarpeisiin tai mahdollisuuksiin.

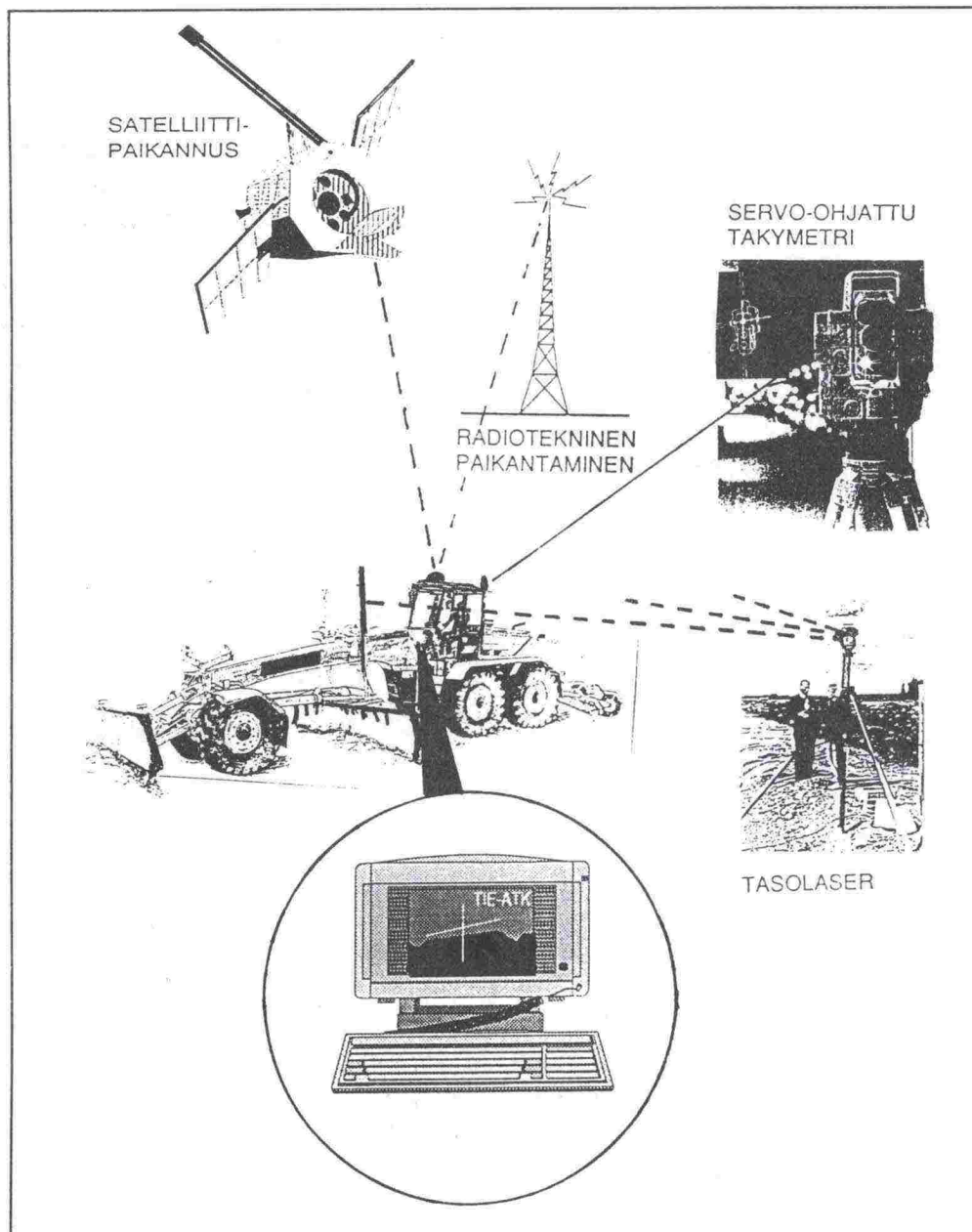
Tekniikan kehittyminen ja automatisoinnin mahdollisuudet rakentamisessa voidaan järjestää kehitysaskeliksi esimerkiksi seuraavaan tapaan:

- > rakentamista tukevat tai ohjaavat välineet
- > työkoneiden automaattinen ohjaus
- > integroitu automaatiojärjestelmä
- > rakentamisen robotiikka.

Avain automaation hyödyntämiseen on atk:n käyttö tiedonkäsittelyyn sekä suunnittelussa että maastotutkimuksissa, projektin ohjauksessa sekä rakentamisessa. Tämä vaatii mittausjärjestelmien ja rakentamisen automaation yhdistämistä. Toisin sanoen työkoneen sisäinen automatiikka kytketään rakentamisen ja suunnittelun atk-järjestelmiin sekä työmaan mittausjärjestelmiin.



Kehittyneessä automaatiojärjestelmässä suunnittelutieto (CAD-tieto) on yhdistetty työmaakoneiden navigointiin ja ohjaukseen. Tämä johtaa tuotantoon liittyvien eri prosessien tiedonkäsittelyn yhdistämiseen. Tällaisia osaprosesseja voivat olla maastotutkimukset, mittaukset, suunnittelu, rakentaminen ja tuotannon ohjaus sekä laadunvalvonta. Tällaista järjestelmää voidaan kutsua tietokoneyhdenneetyksi rakentamiseksi (Lindholm&Pieskä 1990).



Kuva 14. Kehityksen suunta: työkonene paikantamisen mahdollisuudet ja rakennussuunnitelmien automaattinen näyttö työkonene ohjaamisessa.

Kuvassa 14 on hahmoteltu työkoneneiden paikantamisen ja automaattisen ohjauksen kehityssuuntia. Tulevaisuudessa paikantamisen vaihtoehtoiset

4. TULEVAISUUDEN KEHITYS

---

mahdollisuudet ovat tasolaser, servo-ohjattu takymetri ja radiotekniikkaan perustuva paikantaminen. Kuljettajan työskentelyä helpottaa suuresti rakennussuunnitelmien automaattinen näyttö työkoneen ohjaamossa.

## 5. SUOSITUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI

### 5.1 JATKOTOIMENPITEET

Jatkotoimenpiteiden ensimmäinen vaihe on kehitysprojektien käynnistämiseksi ja rahoittamiseksi tarvittavien osapuolien selvittäminen sekä neuvotteleminen yhteistyöjärjestelyistä.

Työkoneiden ohjausautomaation jatkokehittämisen ensisijainen tavoite on määritellä ja toteuttaa atk-pohjainen näyttö- ja ohjausohjelma, jossa esitetään havainnollisesti työkoneen ohjaamossa rakennussuunnitelman poikileikkaustiedot ja työkoneen terän korkeustaso ja asento suhteessa rakennekerroksen tasoon (ks. kuva 14, s. 34).

Jatkokehittämisen työvaiheet ovat seuraavat:

- 1) Osapuolet ja yhteistyö
- 2) Työkoneen automaattisen ohjauksen kehittäminen
- 3) Muut toimenpiteet.

Aluksi kannattaa valita automatisoitavaksi työkoneeksi tiehöylä. Kehitystyössä kannattaa keskittyä ensin lähinnä kantavan rakennekerroksen rakentamiseen, jota on paljon, mutta joka on sisänsä yksinkertainen työvaihe. Kun alemmat rakenteet saadaan rakennettua oikeaan tasoon ja kaltevuuteen, päällysrakenne on helppo tasata suunnitellun mukaiseksi. Myöhemmin samaa tekniikkaa voidaan kehittää ja sen käyttöä laajentaa muihin työvaiheisiin ja työkoneisiin.

### 5.2 OSAPUOLET JA YHTEISTYÖ

Eri osapuolten mukaan saaminen kehittämistyöhön on projektien onnistumisen edellytys. Tämä johtuu osaltaan kehitystyön rahoituksen järjestämisestä. Lisäksi ohjausautomaation kehittämisessä tarvitaan useiden eri alojen laajaa asiantuntemusta. Kehittämisohjelman myymiseksi ja eri osapuolten sitomiseksi kehittämiseen täytyy:

- selvittää kehittämisen kannalta tärkeät sidosryhmät
- selvittää osapuolten ohjausjärjestelmän kehittämiseen liittyviä mahdollisuuksia, tarpeita ja ongelmia
- käydä neuvotteluja kehittämisprojektien käynnistämiseksi
- pitää yhteyttä varsin suureen joukkoon intressiryhmiä kehittämisen aikana.

Mahdollisia osapuolia voivat olla:

- suunnittelijat
- urakoitsijat
- laitevalmistajat



- laitteistojen ja koneiden maahantuoijat
- eri alojen konsultit ja asiantuntijat
- kunnat
- keskusvirastot (esim. Ilmailulaitos ja VR)
- puolustusvoimat
- tutkimuslaitokset (esim. VTT)
- kehittämiskeskukset (esim. TEKES)
- korkeakoulut
- keskusjärjestöt (esim. SML)
- ulkomaiset osapuolet (esim. pohjoismainen yhteistyö).

## 5.3 TYÖKONEEN OHJAUSAUTOMAATIO

### 5.3.1 Työvaiheet

Työkoneen ohjausautomaatio yhdistää työmaan mittaus- tai paikantamisjärjestelmän ja tiensuunnittelun atk-järjestelmän työkoneen sisäiseen automaatioon. Ohjausautomaatiolla havinnollistetaan kuljettajalle työkoneen ohjaamossa tien rakennekerrosten pintojen taso ja kaltevuus. Kuljettaja voi myös nähdä työterän asennon suhteessa kerroksen poikkileikkaukseen. Työterän säätö tehdään joko manuaalisesti tai puoliautomaattisesti.

Ohjausjärjestelmän kehittäminen voidaan jakaa työvaiheisiin siten, että niiden rajaukset ovat mahdollisimman selkeät (*kuva 15*):

1. Atk-ohjelman (näyttö- ja ohjausohjelman) kehittäminen tien rakennetietojen käsittelemiseksi ja tarvittavien liityntöjen tekeminen atk-ohjelmistoihin.
2. Ohjausyksikön kehittäminen työkoneen terän säätöautomaatiikkaa varten
3. Paikantamistekniikoiden soveltaminen ja integrointi ohjausjärjestelmään.

### 5.3.2 Näyttö- ja ohjausohjelma

Näyttö- ja ohjausohjelman tehtävä on esittää työkoneen sijainnin mukainen rakennekerroksen poikkileikkaus sekä työterän korkeustaso, kaltevuus ja sijainti poikkileikkauksella työkoneen ohjaamoon sijoitetun tietokoneen monitorissa. Tätä varten ohjausohjelmassa on liitännät:

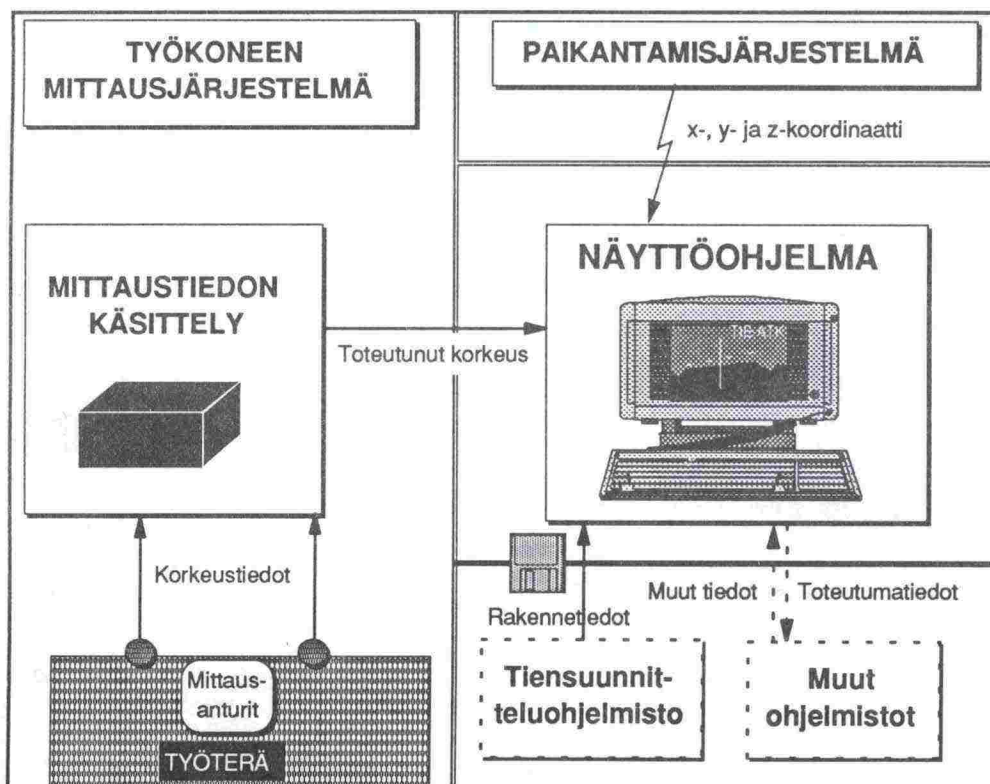
- paikantamisjärjestelmään, joka mittaa työkoneen sijainnin
- tiensuunnitteluohjelmistoon, josta siirretään tien rakennetiedot sopivassa muodossa esim. levykkeillä
- ohjausyksikköön, jolle ohjausohjelma lähettää työkoneen terän sijainnin mukaiset rakennekorkeudet ja joka palauttaa ohjausohjelmalle toteutuneet rakennekorkeudet laadunvarmistusta varten

- ohjausohjelmasta tarvitaan mahdollisesti liityntöjä muihinkin ohjelmiin kuin CAD-ohjelmistoon, tällaisia voivat olla työmaan mittausjärjestelmiin liittyvät atk-ohjelmat, tuotannon ohjaus- ja suunnitteluohjelmistot sekä laadun valvontaan ja varmistukseen liittyvät ohjelmistot.

Työkoneeseen sijoitettavan tietokoneen tulee olla pienikokoinen ja sen pitää kestää työmaolosuhteita: kuumuutta, pakkasta, tärinää ja pölyä. Tietokone varustetaan monitorilla, näppäimistöllä, kovalevyllä, levykeasemalla sekä tarpeellisella määrällä ulkopuolisia liityntöjä.

Automaatiojärjestelmäksi on kaksi vaihtoehtoa: joko se on informaatiojärjestelmä tai puoliautomaattinen järjestelmä. Vaihtoehtojen keskeinen ero on se, että puoliautomaattinen järjestelmä pystyy säätämään työterän asentoa automaattisesti.

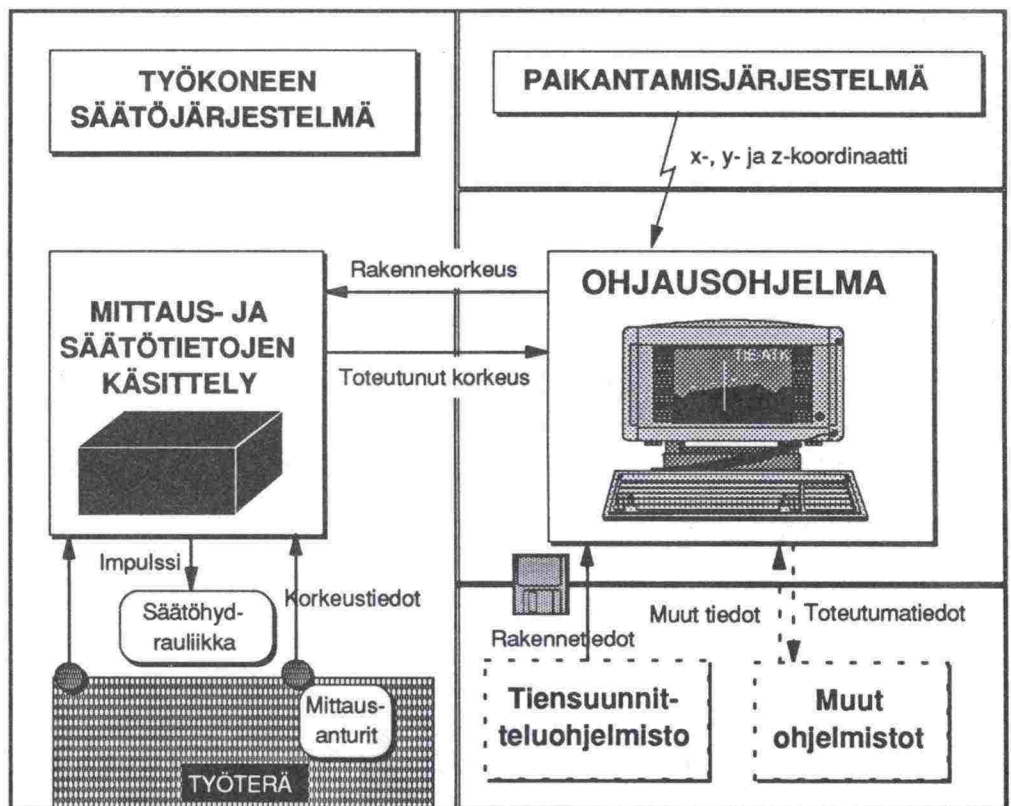
Informaatiojärjestelmän atk-ohjelmistoa kutsutaan tässä näyttöohjelmaksi ja puoliautomaattijärjestelmän näyttö- ja ohjausohjelmaksi. Kehitystyön välitavoitteeksi kannattaa asettaa ensin informaatiojärjestelmä (kuva 15), jonka pohjalta kehitetään puoliautomaattista järjestelmää.



Kuva 15. Automaatiojärjestelmän osat ja niiden liitynnät. Vaihtoehto: informaatiojärjestelmä.

Informaatiojärjestelmästä puuttuu työterän automaattinen asennon säätö, mutta kuljettaja näkee työkonteen ohjaamossa monitorista rakennettavan kerroksen poikkileikkauksen, jonka mukaan hän voi korjata manuaalisesti työterän korkeustasoa ja kaltevuutta.

Puoliautomaattisen järjestelmän (kuva 16) pääosia ovat säätöyksikkö, säätöhydrauliikka ja mittausanturit sekä tarvittava kaapelointi. Reaaliaikainen säätöjärjestelmä tarvitsee todennäköisesti oman mikroprosessorinsa, joka kytketään työkonteen tietokoneeseen. Ohjausyksikkö saa suunnitellun rakennekorkeuden ohjausohjelmalta ja työterän korkeustiedon mittausantureilta, jonka jälkeen se voi laskea tarvittavan terän korkeusaseman korjauksen ja lähettää korjausimpulssin säätöhydrauliikalle.



Kuva 16. Kaaviokuva puoliautomaattisesta ohjausjärjestelmästä.

### 5.3.3 Paikantamisjärjestelmä

Paikantamisjärjestelmän kehittäminen voidaan jakaa seuraaviin osiin:

- Paikannustekniikan kehittäminen soveltumaan työkonneiden ohjaamiseen
- Paikantamisjärjestelmän integrointi ohjausjärjestelmään, mikä käytännössä tarkoittaa paikantamisjärjestelmän ja ohjausohjelman välisen liitynnän määrittelyä ja toteuttamista koordinaattien siirtämiseksi ohjausohjelmaan.



Paikannustekniikkaprojektin vaiheet voivat olla seuraavat:

- \* Projektin ohjelmointi ja organisointi
- \* Kriittisten sidosryhmien ja osapuolten intressien selvittäminen
- \* Käytännön laitteistokokeilut ja niiden tulokset
- \* Kehittämistarpeet ja -mahdollisuudet (mittausautomaatio, laitteistoautomaatio, atk)
- \* Kokeilujen tulokset, ongelmat ja mahdollisuudet sekä vaihtoehtoiset käyttötavat
- \* Yhteiskäytön mahdollisuudet muun tekniikan kanssa (esim. x- ja y-paikannus tasolaserin käytön lisäksi)
- \* Automaation hyödyt ja kokonaiskustannukset
- \* Raportointi.

## 5.4 MUUT TOIMENPITEET

Jatkotoimenpiteiksi suositellaan lisäksi:

- 1) Teknisen kehityksen seuraamista, johon sisältyy paikantamis- ja automaatiotekniikan mahdollisuuksien seuraamista ja arviointia sekä kansainvälisten kehitystrendien seurantaa (esim. Ruotsi, USA ja Japani).
- 2) Vision tarkentamista kehittämis- ja kokeiluprojektien, kansainvälisen kehityksen seurannan, yhteistyöjärjestelyiden ja automaation hyöty/kustannusanalyysin pohjalta.
- 3) Jos tekniset mahdollisuudet tai tulevaisuuden visio muuttuvat oleellisesti, joudutaan kehittämisohjelman tarkentamaan.

## 5.5 KEHITYSTYÖN ARVIOINTI

Työkoneiden ohjausautomaation kehittämisen kustannuksiksi arvioidaan yhteensä 1,5 - 3,0 miljoonaa markkaa.

Tielaitos rakentaa sitomattomia päällysrakennekerroksia noin 300 miljoonalla markalla vuodessa. Jo yhden prosentin säästöllä näiden kerrosten rakennuskustannuksista kehitysinvestointi maksaisi itsensä takaisin noin vuodessa. Kehitystyö alkaa tuottaa tuloksia noin viiden vuoden kuluttua ja hyötyjen kertymä kasvaa vuosi vuodelta.

Työkoneiden ohjausautomaation hyötyjä ovat tienrakentamisen laadun ja tuottavuuden paraneminen, materiaalien pieneminen ja rakennusajan lyheneminen. Erityisesti säästetään kalliita materiaaleja. Hyödyt ovat suhteellisen suuret hankkeen kustannuksiin verrattuna: kehitysprojekti arvioidaan taloudellisesti kannattavaksi.

Kehitystyön kestoksi arvioidaan neljä vuotta. Vuoden 1992 kustannuksiksi arvioidaan noin 300 000 - 600 000 markkaa. Kehitystyö rahoitetaan yhdessä hankkeeseen osallistuvien osapuolten kanssa. Liitteessä 1 on kehitystyön

alustava työohjelma ja arvioitu aikataulu. Vuonna 1992 tehdään kehittämisen systeemityötä ja siihen liittyvää laiteistokokeilua. Vuonna 1993 aloitetaan varsinainen tuotantokäyttöön sopivan kokonaisuuden kehittäminen.

## 6. LÄHDELUETTELO

Brunner, F. K.: NAVSTAR GPS - Ein Satellitensystem für die Navigation und Vermessung der Zukunft.

Caspary, Wilhelm: Inertial Positioning - Principals and Procedures. Review Paper. Universität der Bundeswehr München. 1985.

Evans, John M.: Measurement technology for automation in construction and large scale assembly. Robotics June/1986. USA.

Huddle, James: Historical Perspective on Estimation Techniques for Positioning and Gravity Survey with Inertial Systems. Journal of Guidance, Control, and Dynamics. Vol. 9/ number 3. May-June 1986.

Huddle, James: Trends in Surveying with Inertial Systems. Litton Systems, INC. March 1987.

Kandolin, Raimo: Pudasjärven lentokenttä tasattiin laserohjatulla tiehöylälä. Maansiirto 7/1990.

Keränen, Petri: Satelliitteihin perustavasta paikannusjärjestelmästä. Tielaitos, Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö, Kuopio 1991.

Laitinen, Matti: Tietyömaan mittaukset. Tie ja liikenne 6/1991.

Lindholm, Mikko & Pieskä, Sakari: Kolmiulotteinen paikanmittaus ja navigointi rakentamisessa. VTT/Elektroniikan laboratorio, 1990.

Lindholm, Pieskä: Rakentamisen kolmiulotteiset mittaukset. Lehtiartikkeli.

Martikainen, Matti: Nykypäivän paikannusmenetelmät. Paikkatietomarkkinat 1991. Seminaariesitelmä.

Merrell, R. L.: Improving Productivity in Ground Control Surveys - Texas looks to Space. TR News, May-June 1989.

Merrell, R. L.: The Use of GPS Satellite Technology for Detecting Structural Movements. Summary Report. Texas Department of Highways and Public Transportation. January, 1990.



Pohjola, Heikki: GPS-mittaus valtaa alaa. Kunnallistekniikka - Kommunal-  
teknik 2/1991.

Päiviö, Olli: Isojoen keskustan tietyömaalla karsitaan turhia työvaiheita. KV  
18/1990.

Rakentaminen 2000. Selvitys rakentamisen pitkän aikavälin kehitysnäky-  
mistä, uhkista ja mahdollisuuksista. Rakennuskirja Oy. Vammala, 1986.

Ruotsalainen, Reino: Paikantamistekniikka vuonna 2000. Lehtiartikkeli.

Salo & Koskela: Rakentamisrobotiikka. Nykytila ja kehitysnäkymät. VTT,  
Tiedotteita 746. 1987.

Santala, Jaakko: Inertiapaikanmäärittäminen, tulevaisuuden vaihtoehto satelliitti-  
paikannukselle? Maankäyttö, N:o 2/1987.

Skiebniewski, Mirosław & Hendrickson, Chris: Automation and Robotics  
for Road Construction and Maintenance. Journal of Transportation Engi-  
neering. Vol. 116, No. 3, May/June 1990.

Tekniikka&Talous 1991a: Kolmannen polven robotit kulkevat ilman ohjel-  
maa. 22.5.1991.

Tekniikka&Talous 1991b: Suomen robottikanta kannattaisi viisinkertaistaa.  
16.10.1991.

Tiehyölien kaltevuusmittarit. Tie- ja vesirakennuslaitos, Tampereen kehitys-  
yksikkö ja Turun tiepiiri. Tutkimustiedote 1/90, 1989.

Tietyömaan mittaukset. TVH, Viatek Oy, 1986.

Tuote-esitteitä.

Wahlström, Gunnar: Maskinstyrning. Seminarie 17, Väg & Trafik 90.

## 7. LIITTEET

### 1. TYÖSUUNNITELMA: Työkoneiden ohjausautomaation kehittäminen

## TYÖSUUNNITELMA: TYÖKONEIDEN OHJAUSAUTOMAATION KEHITTÄMINEN

### 1. TAVOITE

Työn päämääränä on tienrakentamisen tehokkuuden ja tuottavuuden lisääminen sekä laadun parantaminen. Käytännön tavoitteena on edistää ja kehittää paikantamistekniikoiden ja yksittäisten mittausapuvälineiden käyttöä. Tällä pyritään kehittämään tietyömaan paikalleenmittauksia siten, että mittaukset ohjaavat suoraan työkoneita ilman maastoon tehtäviä kiinteitä apumerkintöjä. Näin tien rakentaminen nopeutuu ja tarkentuu. Rakennuskustannukset alenevat, ja rakentamisen laatu paranee, kun tierakenteiden suunnitellut kerrospaksuudet ja kaltevuudet saavutetaan helpommin.

### 2. TYÖN SISÄLTÖ

Työhön sisältyy:

- 1) Osapuolet ja yhteistyö
- 2) Työkoneen automaattisen ohjauksen kehittäminen
- 3) Muut toimenpiteet

#### 2.1 Osapuolet ja yhteistyö

Tehtävään sisältyy laitteistojen käytön lisäämisestä ja kehittämisestä kiinnostuneiden osapuolten selvittämisen. Projektiin osallistuvia osapuolia voisivat olla esimerkiksi:

- suunnittelijat
- urakoitsijat
- laitevalmistajat
- laitteistojen ja koneiden maahantuojat
- eri alojen konsultit ja asiantuntijat
- kunnat
- keskusvirastot (esim. Ilmailulaitos ja VR)
- puolustusvoimat
- tutkimuslaitokset (esim. VTT)
- kehittämiskeskukset (esim. TEKES)
- korkeakoulut
- keskusjärjestöt (esim. SML)
- ulkomaiset osapuolet (esim. pohjoismainen yhteistyö).

Kokeilujen ja kehittämistyön käynnistämiseksi tarvitaan yhteyden pitoa ja neuvotteluita eri osapuolten välillä. Yhteistyöjärjestelyt sisältävät myös työnjaon, hankkeen rahoituksesta sopimisen ja projektiorganisaation tarkistamisen.



## 2.2 Työkoneen ohjausautomaatio

Ohjausautomaation kehittäminen voidaan jakaa:

- paikantamisjärjestelmään
- työkoneen sisäisen mittaus- ja säätöautomaatiikkaan
- näyttö- ja ohjausohjelmaan.

## 2.3 Muut toimenpiteet

Muut toimenpiteet sisältävät:

- teknisen kehityksen seuraamista
- vision tarkentamisen
- kehittämisohjelman tarkentamisen.

## 3. TYÖN VAIHEET

### 3.1 Osapuolet ja yhteistyö:

- 1) Ohjelmointi ja organisointi
- 2) Yhteydenotot ja tiedottaminen
- 3) Yritys- ja laitoskontaktien selvittäminen
- 4) Yhteyshenkilöiden selvittäminen
- 5) Alustavat neuvottelut
- 6) Yhteistyöneuvottelut
- 7) Raportointi.

### 3.2 Ohjausautomaation kehittäminen

#### 3.2.1 Paikantamisjärjestelmä:

- 1) Ohjelmointi ja organisointi
- 2) Käytännön laitteistokokeilut
- 3) Paikantamistekniikoiden yhteiskäyttö
- 4) Kehittämistarpeiden ja -mahdollisuuksien arviointi
- 5) Paikantamistekniikoiden soveltaminen
- 6) Paikantamisjärjestelmän liittäminen näyttö- ja ohjausohjelmaan
- 7) Raportointi

#### 3.2.2 Näyttö- ja ohjausohjelma

- 1) Ohjelmointi ja organisointi
- 2) Systeemimäärittäykset
- 3) Atk-laitteistokysymykset
- 4) Ohjelmistosuunnitelma (näyttöohjelma)
- 5) Prototyypin ohjelmointi (näyttöohjelma)
- 6) Prototyypin testaus (näyttöohjelma)
- 7) Näyttöohjelman käyttökokeilut

- 8) Näyttö- ja ohjausohjelman suunnittelu
- 9) Näyttö- ja ohjausohjelman ohjelmointi
- 10) Prototyypin testaus (näyttö- ja ohjausohjelma)
- 11) Tuotantoversion kehittäminen
- 12) Tuotantoversion testaus
- 13) Raportointi ja dokumentointi.

### 3.3.3 Työkoneen mittaus- ja säätöjärjestelmän kehittäminen

- 1) Ohjelmointi ja organisointi
- 2) Mittausyksikön kehittäminen
- 3) Prototyypin testaus
- 3) Mittaus- ja säätöyksikön kehittäminen
- 4) Kenttäkokeilut
- 5) Tuotantoversion kehittäminen
- 6) Käyttökokeilut
- 7) Laitteistodokumentit ja raportointi.

### 3.3 Muut toimenpiteet

- 1) Teknisen kehityksen seuraaminen
- 2) Vision tarkentaminen
- 3) Kehittämisohjelman tarkentaminen.







## 4. KUSTANNUSARVIO

Kehittämishankkeen kustannusarvio on 1,5 - 3,0 Mmk. Arvioidut kustannukset (%) jakautuvat seuraavasti:

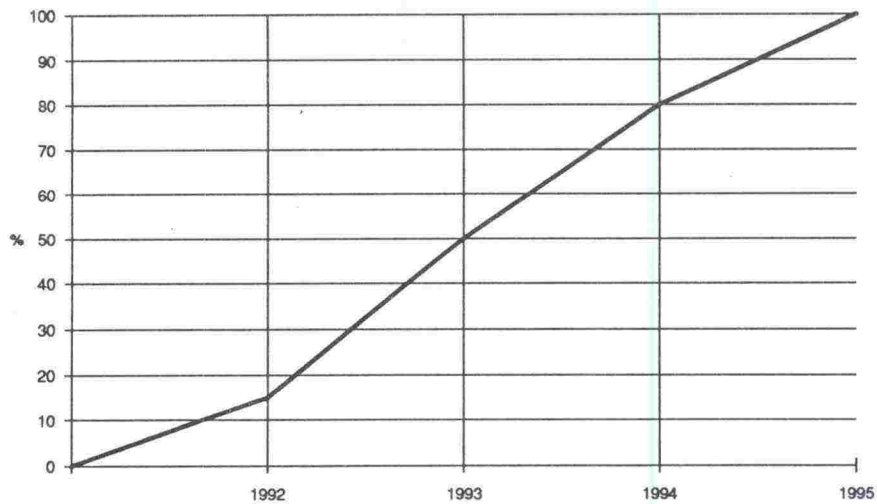
<b>Osapuolet ja yhteistyö</b>	<b>5</b>
<b>Työkoneen ohjausautomaatio:</b>	
<b><u>1. Näyttöohjelman kehittäminen</u></b>	
- Paikantamisjärjestelmä	20
- Atk-ohjelmisto	15
- Työkoneen mittausyksikkö	25
Yhteensä	60
<b><u>2. Näyttö- ja ohjausohjelman kehittäminen</u></b>	
- Atk-ohjelmisto	10
- Työkoneen mittaus- ja säätöyksikkö	20
Yhteensä	30
<b>Työkoneen ohjausautomaatio yhteensä</b>	<b>90</b>
<b>Muut toimenpiteet</b>	<b>5</b>
<b>Kaikki yhteensä</b>	<b>100</b>

## 5. TYÖN ARVIOITU AIKATAULU

Työn kestoksi arvioidaan noin 4 vuotta. Alustava aikataulu on esitetty alla.

Työvalhe	1992	1993	1994	1995
Osapuolet				
Näyttöohjelma				
Atk-ohjelma				
Paikantamisjärjestelmä				
Mittausyksikkö				
Ohjausohjelma				
Atk-ohjelma				
Mittaus- ja säätöyksikkö				
Muut toimenpiteet				

Kustannukset jakautuvat eri vuosille alustavan aikataulun mukaan arvioituna seuraavasti:





## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 13/1991 Selvitys nopeusrajoitusten määrittämisestä ja vaikutuksista. TIEL 3200011
- 14/1991 Jalankulkijan ja pyöräilijän vammautumiset liikennealueilla. TIEL 3200012
- 15/1991 Liikenneinvestoinneista päättäminen; Arvio suunnittelunäkemyksestä. TIEL 3200013
- 16/1991 Paristotyyppin ja ympäristön lämpötilan vaikutus varoitusvilkun toimintaan. TIEL 3200014
- 17/1991 The Effect of Battery Type and Ambient Temperature on the Operation of Warning Flashers. TIEL 3200015E
- 18/1991 Pohjaveden suojaus maatiivisteellä tien luiskassa. TIEL 3200017
- 19/1991 Liikennetunnelien kuivatus- ja lämpöeristysrakenteet. TIEL 3200018
- 20/1991 Kunnossapidon tuloksen mittaus. TIEL 3200019
- 21/1991 Tiesuolauksen vaikutus pohjaveteen Salpausselän alueella. TIEL 3200020
- 22/1991 Tiekohtaiset nopeusrajoitukset ja onnettomuudet 1984 - 1988. TIEL 3200021
- 23/1991 Kiertoliittymät ja niiden välityskyky. TIEL 3200022
- 24/1991 Teiden kantavuusvaihtelut 1987-89. TIEL 3200023
- 25/1991 Tierakenteen kantavuusvaihtelu ja laskennalliset kantavuudet. TIEL 3200024
- 26/1991 Joukkoliikenne; Kirjallisuusselvitys ja -referaatit. TIEL 3200025
- 27/1991 Kauhavan taajamatien saneerauksen vaikutukset. TIEL 3200026
- 28/1991 Kuormausjärjestelyt teiden kunnossapidossa. TIEL 3200027
- 29/1991 Collisions with Road Structures and Appurtenances. TIEL 3200028E
- 30/1991 Tien hoitoajoneuvojen vahinkotutkimus. TIEL 3200029
- 31/1991 Polttoaineen hinnannousun vaikutus autonkäyttöön. TIEL 3200030
- 32/1991 Liikenneonnettomuuksien aikasarjaennuste vuodelle 1991. TIEL 3200031
- 33/1991 Hirvieläinonnettomuudet yleisillä teillä 1990. TIEL 3201921-91
- 34/1991 Hankasalmen ja Kauhavan taajamakuvatarkastelu. TIEL 3200032
- 35/1991 Tietullit ja kiinteät tienkäyttömaksut, optimaalinen maksujärjestelmä tieliikennesektorille. TIEL 3200033
- 36/1991 Kansalaisten osallistuminen tiensuunnitteluun; Muurla-Lohjanharju vaihtoehtoselvityksen arviointi. TIEL 3201870
- 37/1991 Rautatien tasoristeysonnettomuudet yleisillä teillä 1990. TIEL 3201870
- 38/1991 Palvelutasomittareiden vertailumittaukset 1991

ISBN 951-47-4985-5  
ISSN 0788-3722  
TIEL 3200035